



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**POROVNÁNÍ KONCEPCÍ ZÁSOBOVÁNÍ MATERIÁLEM S  
VYUŽITÍM POČÍTAČOVÉ SIMULACE**

COMPARISON OF MATERIAL SUPPLY CONCEPTS USING COMPUTER SIMULATION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tomáš Kadlec**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jiří Hloska, Ph.D.**

**BRNO 2021**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Bc. Tomáš Kadlec**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hloska, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Porovnání koncepcí zásobování materiálem s využitím počítačové simulace**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Návrh konceptu manipulace s materiálem z automatického skladu k výrobní oblasti včetně návrhu logiky řízení vyskladnění materiálu ze skladu s ohledem na prostorové uspořádání a vzájemnou polohu skladu a výrobní oblasti.

### **Cíle diplomové práce:**

Layout obsahující polohu automatického skladu a výrobní oblasti s vyznačením nově navržené technologie zajišťující přepravu materiálu mezi těmito oblastmi.

Koncepční návrh materiálového a informačního toku mezi skladem a výrobní oblastí odpovídající navržené technologii manipulace s materiálem.

Počítačový simulační model výchozího aktuálního uspořádání automatického skladu a výrobní oblasti, který odpovídá aktuálnímu způsobu přepravy materiálu.

Počítačový simulační model navrhovaného řešení manipulace s materiálem mezi automatickým skladem a výrobní oblastí.

Sestavení matice experimentů a provedení simulačních experimentů s cílem porovnat původní a navrhovaný způsob manipulace s materiálem za různých provozních scénářů a technicko–organizačních parametrů procesu.

**Seznam doporučené literatury:**

BANGSOW, Steffen. Tecnomatix Plant Simulation. 2nd ed. New York: Springer, 2020, ISBN 978--030-41543-3.

NOCHE, Bernd a Mathias BÖS. Simulation der Transportverkehre. MAYER, Gottfried, Carsten PÖGE, Sven SPIECKERMANN a Sigrid WENZEL, ed. Ablaufsimulation in der Automobilindustrie [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, 2020-03-14, s. 155-171 [cit. 2020-10-06]. ISBN 978-3-662-59387-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-59388-2\_11.

BANKS, Jerry, CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-event system simulation. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, Inc., 2009. ISBN 978-013-8150-372.

KÜHN, Wolfgang. Digitale Fabrik. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 978-344-6406-193.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Obsahem diplomové práce je návrh nového konceptu manipulace s materiálem z automatického skladu k výrobní oblasti a porovnání s původním konceptem s využitím počítačové simulace. Simulační model je vytvořen v softwaru Plant Simulation od společnosti PLM Software. Součástí práce je sestavení matice experimentů a provedení simulačních experimentů za účelem porovnání obou koncepcí.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Simulace, layout, materiálový tok, informační tok, Plant Simulation, pojmový model, matice experimentů.

## ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to design of a new concept of material handling from the automatic warehouse to the manufacturing area and comparison with the original concept using computer simulation. The simulation model is created in Plant Simulation software from PLM Software. Part of the thesis is to compile a matrix of experiments and perform simulation experiments in order to compare both concepts.

## KEYWORDS

Simulation, layout, material flow, information flow, Plant Simulation, conceptual model, matrix of experiments.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KADLEC, T. *Porovnání koncepcí zásobování materiálem s využitím počítačové simulace*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 64 s. Vedoucí diplomové práce Jiří Hloska.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Hlosky, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Bc. Tomáš Kadlec

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Hloskovi, Ph.D. za přístup a cenné rady v průběhu vypracování mé práce. Dále bych rád poděkoval firmě Marelli Automotive Lighting Jihlava, s.r.o. za možnost spolupráce a za poskytnutí informací a podkladů. Jmenovitě bych chtěl poděkovat panu Ing. Vojtěchu Šaclovi za cenné konzultace, které byly klíčem k dopsání diplomové práce. Ještě bych rád poděkoval svému kamarádovi panu Bc. Tomáši Seidlovi za cenné rady při tvoření simulačního modelu. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, přátelům i učitelům, bez kterých bych dnes tyto řádky nepsal.

# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Cíle a členění práce .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Dopravní a manipulační technika .....</b>	<b>13</b>
2.1 Automatizovaný sklad na drobné zboží v ukládacích bednách .....	13
2.1.1 Fungování AKL .....	14
2.1.2 Konfigurace úložiště .....	14
2.1.3 Strategie ukládání napříč uličkami .....	17
2.1.4 Strategie skladování související s uličkou .....	19
2.2 Dopravníkové technologie .....	22
2.2.1 Válečkový dopravník .....	22
2.2.2 Pásové dopravníky .....	23
2.2.3 Trendy dopravníků .....	26
2.3 Manipulační průmyslové motorové vozíky .....	27
2.3.1 Tahače (vláčky) .....	27
2.3.2 Automatic Guided Vehicle (AGV) .....	29
<b>3 Počítačová simulace .....</b>	<b>34</b>
3.1 Definice základních pojmů .....	34
3.1.1 Simulace .....	34
3.1.2 Simulační model .....	34
3.1.3 Systém .....	34
3.1.4 Simulační běh .....	34
3.1.5 Experiment .....	34
3.2 Postup řešení v rámci simulačního projektu .....	35
3.2.1 Formulace problému .....	35
3.2.2 Ověření vhodnosti provádění simulace .....	35
3.2.3 Formulace cílů .....	35
3.2.4 Získání dat a jejich analýza .....	35
3.2.5 Modelování .....	35
3.2.6 Provedení simulačních běhů .....	36
3.2.7 Zhodnocení .....	36
3.2.8 Dokumentace .....	36
<b>4 Představení firmy Marelli Automotive Lighting .....</b>	<b>37</b>
<b>5 Úvod do praktické části .....</b>	<b>38</b>
5.1 Formulace problému .....	38
5.2 Formulace cílů .....	39
5.3 Společné hodnoty pro oba koncepty .....	39
5.3.1 AKL .....	39
5.3.2 Produkce výrobní oblasti .....	39
5.3.3 Dopravníkový systém .....	39
5.3.4 Směnový režim .....	39
5.3.5 Sledování materiálu .....	39



<b>6</b>	<b>Stávající koncept .....</b>	<b>40</b>
6.1	Start výroby .....	40
6.2	Vláček a operátor.....	40
6.3	Dopravníkový systém.....	41
<b>7</b>	<b>Nový koncept .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>Počítačová simulace praktické části .....</b>	<b>43</b>
8.1	Pojmový model původního konceptu .....	43
8.2	Popis simulačního modelu původního konceptu.....	43
8.2.1	Popis části modelu u Aftermarketu .....	44
8.2.2	Popis části modelu u AKL .....	45
8.3	Validace a verifikace původního konceptu .....	46
8.3.1	Statické výpočty .....	47
8.3.2	Tabulka validace .....	47
8.4	Pojmový model nového konceptu .....	48
8.5	Popis simulačního modelu nového konceptu .....	49
8.6	Validace a verifikace nového konceptu.....	50
8.6.1	Statické výpočty .....	50
8.6.2	Tabulka validace .....	51
<b>9</b>	<b>Matice experimentů .....</b>	<b>52</b>
9.1	Definování strategií rozjezdů vláčku.....	52
9.2	Parametry experimentů.....	52
9.3	Sledované ukazatele experimentů .....	53
9.4	Doba simulace .....	53
<b>10</b>	<b>Zhodnocení simulačních experimentů.....</b>	<b>54</b>
10.1	Popis jednotlivých experimentů .....	54
10.2	Vyhodnocení sledovaných parametrů.....	56
10.3	Shrnutí.....	57
	<b>Závěr .....</b>	<b>58</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>61</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>62</b>
	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>63</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>64</b>

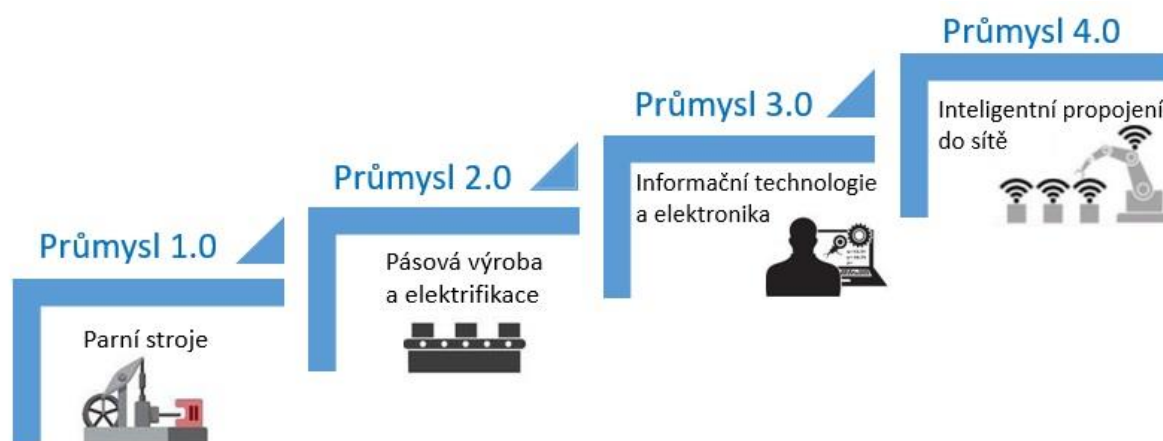
## ÚVOD

Výrobní logistika má za úkol zaručit optimální a plynulý tok materiálů mezi skladem surovin, výrobní oblastí a skladem hotových výrobků. Spojuje nákupní a distribuční logistiku. Výrobní logistika není pouze o přepravě zásob a zboží mezi odděleními, nýbrž zahrnuje také plánování, kontrolu a implementaci procesu, který zaručuje, že každý stroj a pracovní stanice jsou zásobeny ve správný čas náležitým množstvím surovin, pomocných materiálů, provozních materiálů, nakupovanými díly, náhradními díly, polotovary a hotovými výrobky. [1]

Při plánování a vylepšování výrobních oblastí hraje velkou roli počítačová simulace. Ta slouží k modelování pracovního prostředí, hledání a předcházení rizik, která změnou technologických či organizačních procesů mohou vzniknout. Na těchto simulačních modelech lze vykonávat virtuální experimenty, které otestují důsledky jednotlivých rozhodnutí. Výsledkem je větší důvěra v navrhované řešení ještě před samotnou realizací. Simulace je v současné době nezbytnou součástí při navrhování každé rozsáhlejší výrobní oblasti. [2]

Simulace hraje také velkou roli v tzv. 4. průmyslové revoluci (Průmysl 4.0). Ta spočívá ve vytvoření tzv. chytrých továren. Základem chytré továrny je výroba, při které materiály samy nesou informaci o tom, jak mají být v průběhu výrobního procesu zpracovávány, za použití strojů, které samy hlásí poruchy, nebo skladů, které samy ukazují stav zásob a zadávají u dodavatelů nové objednávky apod. [3]

První průmyslová revoluce začala již koncem 18. století, kdy Edmund Cartwright vynalezl první mechanický tkací stav a stroje byly poháněny primárně energií vody a páry. Při vynálezu žárovky Thomasem Edisonem se postupně rozmohla hromadná výroba, která používala elektřinu a spalovací motory, to vedlo ke druhé průmyslové revoluci. Výpočetní technika spolu s automatickými výrobními linkami odstartovaly třetí průmyslovou revoluci v 70. letech minulého století. Čtvrtou revoluci představují již zmíněné chytré továrny, které se do jisté míry budou řídit samy. Postup revolucí lze vidět na Obr. 1. [4]



Obr. 1 Postup průmyslových revolucí. [4]

# 1 CÍLE A ČLENĚNÍ PRÁCE

Cílem této práce je navrhnout nový koncept zásobování výrobních oblastí z automatického skladu a porovnat jej s původním konceptem pomocí počítačové simulace. Nový koncept počítá i s jinou polohou výrobní oblasti. Základem vedoucím k dosažení tohoto cíle je vypracování zadaného projektu v kooperaci s výrobním závodem Marelli Automotive Lighting, s.r.o. ve Stříteži.

Mezi cíle práce cíle patří:

- Layout obsahující polohu automatického skladu a výrobní oblasti s vyznačením nově navržené technologie zajišťující přepravu mezi materiálem a těmito oblastmi.
- Koncepční návrh materiálového a informačního toku mezi skladem a výrobní oblastí odpovídající navržené technologii manipulace s materiálem.
- Počítačový simulační model výchozího aktuálního uspořádání automatického skladu a výrobní oblasti, který odpovídá aktuálnímu způsobu přepravy materiálu.
- Počítačový simulační model navrhovaného řešení manipulace s materiálem mezi automatickým skladem a výrobní oblastí.
- Sestavení matice experimentů a provedení simulačních experimentů s cílem porovnat původní a navrhovaný způsob manipulace s materiálem za různých provozních scénářů a technicko-organizačních parametrů procesu.

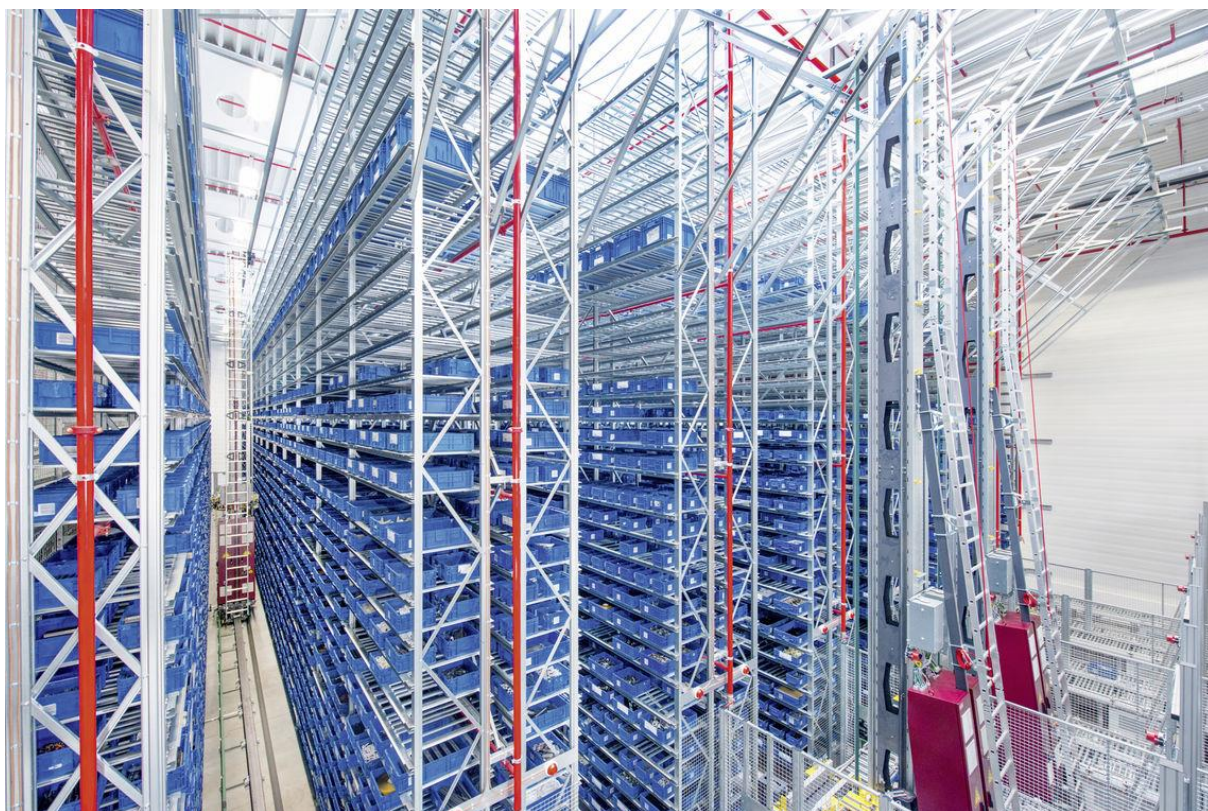
Diplomovou práci lze rozdělit do dvou částí. První část je rešeršní a pojednává o technologiích související s diplomovou prací, o počítačových simulacích a představuje firmu, se kterou se při vypracování této práce spolupracovalo. Druhá část je praktická a vysvětluje danou problematiku. Dále popisuje simulační model a je zde i uvedena verifikace a validace simulačního modelu. Představena je i matice experimentů, která je detailně popsána. Závěrem byly výsledky zhodnoceny a posouzeny.

## 2 DOPRAVNÍ A MANIPULAČNÍ TECHNIKA

Tato kapitola pojednává o dopravní a manipulační technice související s praktickou částí práce. Jedná se o automatizovaný sklad na drobné zboží v ukládacích bednách, dopravníkové technologie (pásový, válečkový dopravník) a manipulační průmyslové vozíky (vláček). Dopravní a manipulační technika je neoddělitelnou součástí prakticky každého technologického procesu. Výrazně působí na kvalitu, ekonomiku i bezpečnost nejen ve strojírenství, ale i ve stavebnictví, těžebním průmyslu atd. [5]

### 2.1 AUTOMATIZOVANÝ SKLAD NA DROBNÉ ZBOŽÍ V UKLÁDACÍCH BEDNÁCH

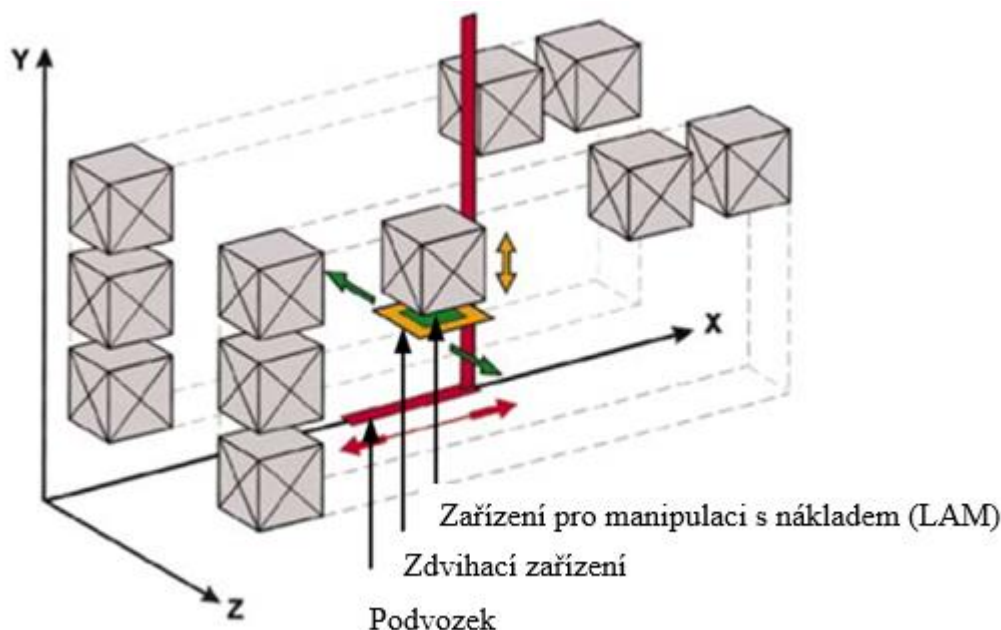
Jedná se o skladovací systémy, u kterých je nejčastější manipulační jednotkou plastová krabice, přepravka, ve které je uložen přepravovaný materiál. Zmíněná manipulační jednotka bývá obvykle standardizována a přepravuje materiál do 50 kg. Tyto sklady lze využít pro uskladnění rozsáhlého sortimentu v jednoduchých konzolových regálech, a to až do výšky 30 m. Samotná manipulace je prováděna automatickými zakladači, které uskladňují nebo vyskladňují manipulační jednotky. Mezi výhody těchto systémů patří vysoká rychlost skladovacích operací a daleko větší využití plochy než u paletových systémů, jelikož mají velmi úzké manipulační uličky. Příklad automatizovaného skladu na drobné zboží (AKL – Automatisches Kleinteilelager) je na Obr. 2. [6], [7]



*Obr. 2 Automatizovaný sklad na drobné zboží v ukládacích bednách. [8]*

### 2.1.1 FUNGOVÁNÍ AKL

Automatizovaný sklad je tvořen úložnými prostory, které jsou odděleny úzkými uličkami. Tyto uličky slouží k vedení úložných a vykládacích automatizovaných zakladačů (RBG – Regalbediengerät), jejichž podvozek pojíždí po kolejích. Zmíněné zakladače se skládají z podvozku, nosné konstrukce, zdvihacího zařízení a zařízení pro manipulaci s nákladem (LAM – Lastaufnahmemittel). Pohyb zakladače je znázorněn na Obr. 3. [7]



Obr. 3 Princip zakladače. [7]

Podvozek umožňuje pohyb ve směru osy x tedy podél skladu. K podvozku je připevněn stožár, po kterém se pohybuje zdvihacímu zařízení ve směru osy y. Pohony podvozku a zdvihacího zařízení fungují samostatně. To umožňuje přepravovanému materiálu diagonální pohyb. Zařízení pro manipulaci s nákladem je umístěno na zdvihacím zařízení a pohybuje s nákladem ve směru osy z. Koná tedy samotné nakládání nebo vykládání. [7]

Na konci každé uličky se nacházejí předávací body, které slouží k napojení skladovací oblasti a dopravníkové technologie. Předávací body lze rozdělit na úložný a vykládací bod. Tzv. „dvojitá jízda“ zakladače spočívá ve vyzvednutí přepravovaného materiálu z úložného bodu, uskladnění do úložného prostoru, naložení zadaného materiálu a vyložení ve vykládacím bodu. Pokud zakladač provádí pouze ukládání nebo vykládání, jedná se o tzv. „jednoduchou jízdu“. [7]

### 2.1.2 KONFIGURACE ÚLOŽIŠTĚ

Pro zvýšení propustnosti, případně kapacity lze pro automatizované sklady využít řadu různých konfigurací, které splňují požadavky moderní logistiky. Běžné konfigurace parametrů jsou uvedeny v Tab. 1. Tyto konfigurace určují technické provedení regálů s předávacími body a konstrukci zakladače. [7]



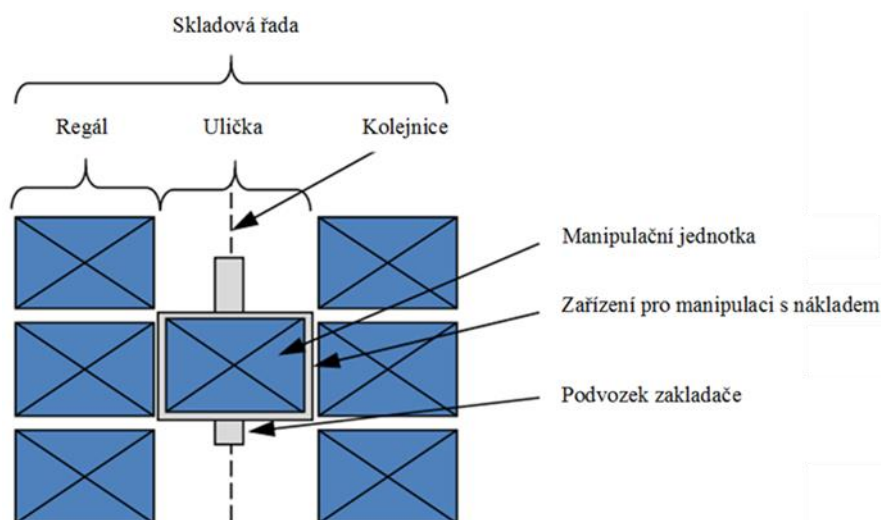
Tab. 1 Přehled běžných konfiguračních parametrů AKL. [7]

Konfigurační parametry skladu	Formy		
Hloubka regálu	Jednořadá	Dvouřadá	
Počet LAM na zakladač	1	2	3
Šířka LAM (šířka uličky)	Jedna jednotka (jednoduchá)	Dvě jednotky (dvojitá)	
Rozsah působnosti zakladače	Jedna ulička	Multi-ulička	
Počet předávacích bodů na uličku	2	3	4
Umístění přepravních bodů	V rohovém bodě skladu		Posunuté v ose x nebo y

Hloubka regálu popisuje konstrukci regálového systému z hlediska počtu manipulačních jednotek, které lze uložit do regálu za sebou (definuje počet úložných řad regálu). Za předpokladu, že jsou rozměry manipulačních jednotek dostatečně menší, než úložný prostor regálu, může jich být za sebou uloženo více. Několik LAM nainstalovaných na automatickém zakladači umožňuje paralelní přepravu manipulačních jednotek. Šířka LAM neboli šířka uličky popisuje počet manipulačních jednotek, které lze pomocí LAM přepravovat ve stejný moment. Jeden zakladač může pracovat ve více uličkách, což je možné díky zakřivené dráze zakladače. O tom pojednává rozsah působnosti zakladače, jestli pracuje v jedné uličce nebo v tzv. multi-uličce. Standartně mají AKL dva předávací body. Navíc mohou být vybaveny úložnými i vykládacími body, které mohou být výškově posunuty, nebo mohou být v zasazeny přímo do regálu. [7]

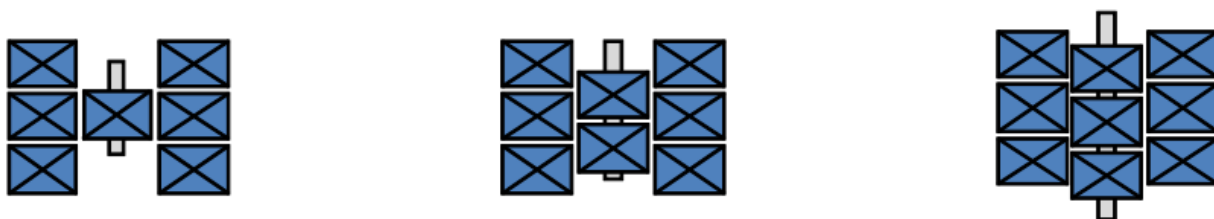
### PŘÍKLADY KONFIGURACÍ

Jednoduchou a velmi často používanou konfigurací skladu (Obr. 4) je sklad s jednořadou hloubkou regálu, jednoduchou šířkou uličky a jedním zařízením pro manipulaci s nákladem (LAM). [7]



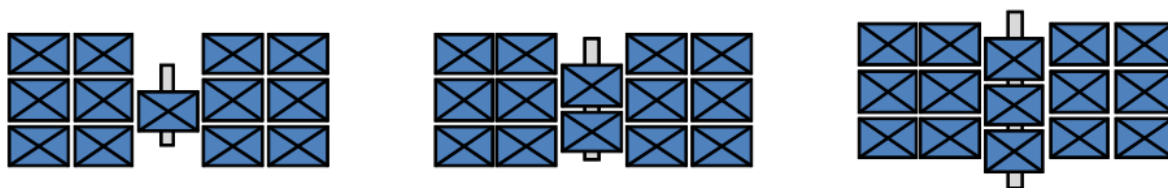
Obr. 4 Schéma velmi často používané konfigurace (pohled shora). [7]

V závislosti na požadavcích z hlediska propustnosti a kapacity úložiště lze použít několik zařízení pro manipulaci s nákladem (LAM) na automatický zakladač (RBG) nebo regál o větších hloubkách. Pokud je místo jednoho LAM připojeno ke zdvihacímu zařízení několik LAM, lze v předávacích bodech současně naložit, nebo vyložit odpovídající počet manipulačních jednotek. Obr. 5 ukazuje konfigurace úložiště s jedním až třemi LAM, jednořadou hloubkou regálu a s jednoduchou šířkou uličky. [7]



Obr. 5 Konfigurace úložiště s jedním až třemi zařízeními pro manipulaci s materiálem (pohled shora). [7]

Pokud je LAM navržen pro dvouřadé hloubkové skladování a regálový systém je navržen odpovídajícím způsobem, mohou být uloženy nakládací jednotky ve dvou řadách. Oproti jednořadému uložení to má výhodu v lepším využití objemu skladu. Nevýhodou tohoto systému je, že když je zapotřebí jednotka z druhé řady, tak zakladač musí nejdříve přemístit jednotku z první řady, což vede k delší době cyklu. Skladování s dvouřadou hloubkou lze provozovat s více LAM (viz Obr. 6). [7]



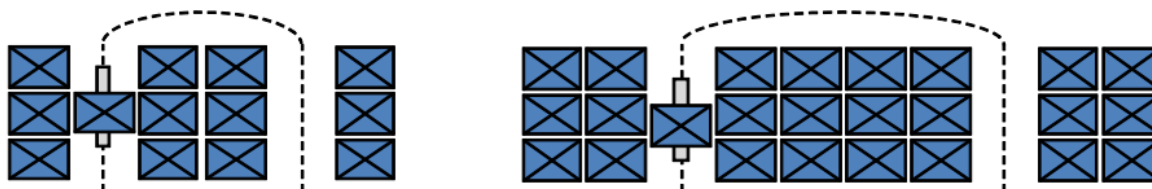
Obr. 6 Konfigurace s dvouřadou hloubkou skladování a jedním až třemi LAM (pohled shora). [7]

Všechny doposud popsané konfigurace mají jednoduchou šířku uličky. Pokud má dvojitou šířku uličky, tak může zakladač pojmout dvě manipulační jednotky v řadě najednou, což vede ke zvýšení propustnosti. Rozšířením uličky však dojde ke zhoršení objemového využití skladu. Za normálních okolností lze na zdvihací zařízení namontovat až dvě LAM s dvojitou šířkou uličky (viz Obr. 7). [7]



Obr. 7 Konfigurace úložiště s jedním nebo dvěma LAM, s dvouřadým úložištěm a s dvojitou uličkou (pohled shora). [7]

Aby se dosáhlo vysokých úložných kapacit s nízkými požadavky na propustnost, používají se přenosová zařízení nebo zakladač se zakřivenou dráhou (Obr. 8), díky tomu je možné obsluhovat několik uliček jedním zakladačem. Kvůli nízkým požadavkům na výkon manipulace se používají pouze zakladače s jedním LAM. [7]



Obr. 8 Konfigurace úložiště s jedním zakladačem se zakřivenou dráhou (Multi-ulička), s jednořadým nebo dvouřadým úložištěm a s jednoduchou uličkou (pohled shora). [7]

### 2.1.3 STRATEGIE UKLÁDÁNÍ NAPŘÍČ ULIČKAMI

Strategie ukládání napříč uličkami se vztahuje nejen na jednotlivé uličky, ale i na celý automatizovaný sklad. Tato strategie se zabývá distribucí příkazů ukládání a vykládání do uliček a také organizováním manipulačních jednotek, které jdou ze skladu. [7]

#### VÝBĚR ULIČKY PRO ZASKLADNĚNÍ

Při zaskladnění se rozlišují dvě různé strategie. První je rovnoměrné zaskladnění mezi několika uliček, což vede k zajištění dodávek jednotek v případě, že dojde v některé z uliček k poruše. Druhá počítá s nejvyšší možnou výkonností automatizovaných skladů. Toho lze dosáhnout mimo jiné zaskladněním uliček, které jsou dočasně nejméně využívány. Tato distribuce lépe využívá kapacitu a umožňuje vyšší míru manipulace, ale nemůže zaručit dodávání materiálu, když by došlo k poruše, na rozdíl od první strategie. [7]

#### VÝBĚR ULIČKY PRO VYSKLADNĚNÍ

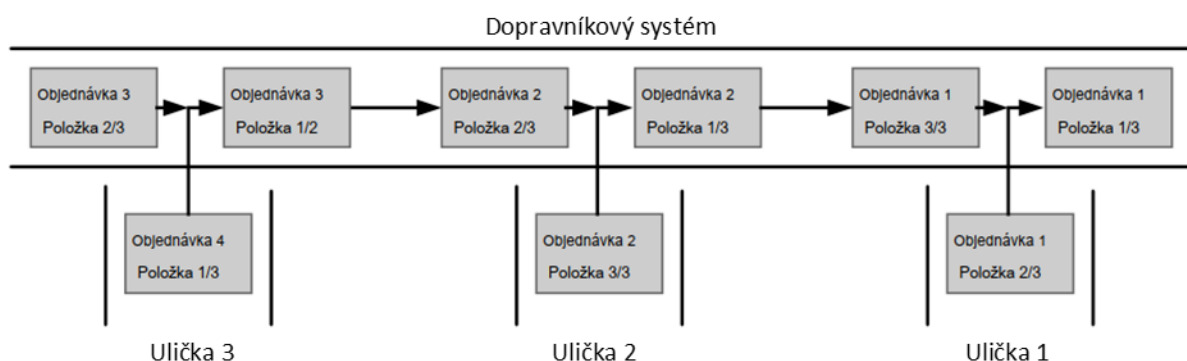
Při výběru uliček pro vyskladnění se uvažují dvě strategie. První počítá s vyskladněním uličky s nejdéle uloženou jednotkou, druhá počítá s vyskladněním nejméně využívané uličky. [7]

#### SEKVENČNÍ STRATEGIE

Po vyskladnění manipulačních jednotek do vykládacího bodu je jednotka přenesena do zóny před skladem. Obvykle musí skladovací systém zaručit určitou sekvenci na výstupu skladovacího prostoru. Tuto sekvenci lze vygenerovat pomocí třídících zařízení v zóně před skladem, nebo přímo řízenou dodávkou manipulačních jednotek ze skladu. [7]

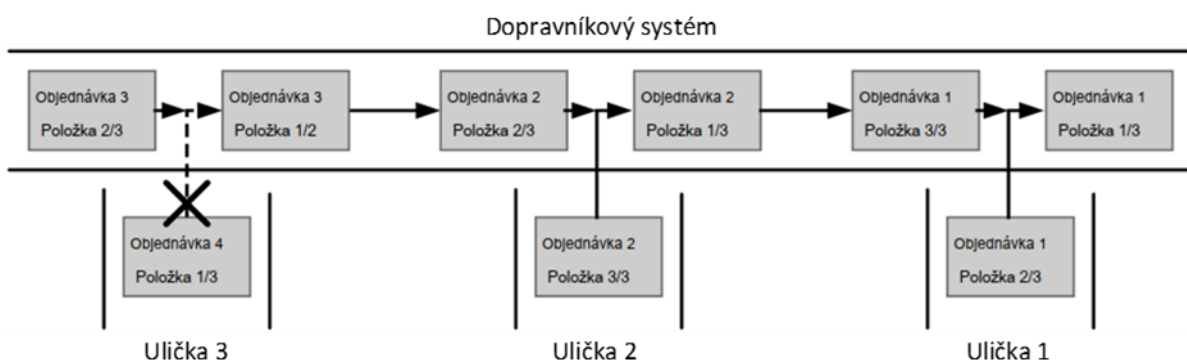
Pokud není předdefinována žádná sekvence, lze využít tzv. Volnou strategii (viz Obr. 9). Při této strategii lze vyskladněné jednotky okamžitě přenést na dopravníkový systém, což vede k tomu, že nedochází ke ztrátě výkonu kvůli možnému zablokování uličky. [7]





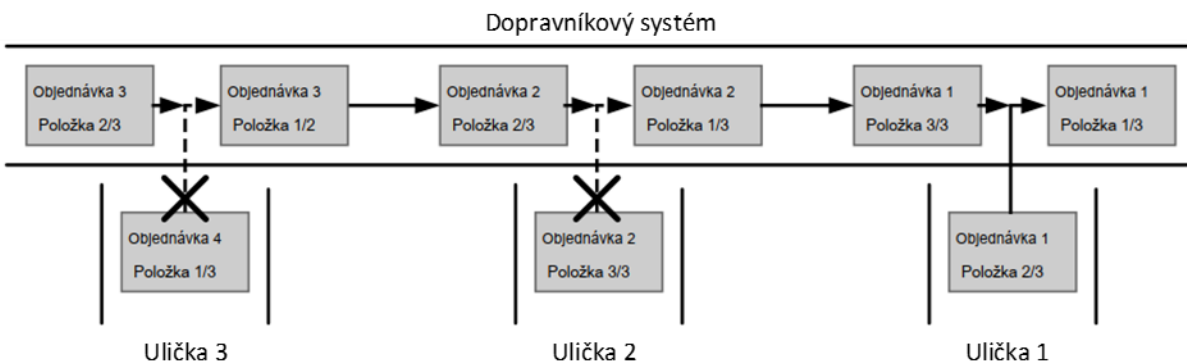
Obr. 9 Přenos manipulačních jednotek při Volné strategii. [7]

Další strategie je Sekvence objednávek (viz Obr. 10). Ta slouží k tomu, aby byly všechny položky objednávky vydány pohromadě a zároveň během této strategie mohou skladovací uličky vydat manipulační jednotku do dopravníkového systému pouze tehdy, pokud již dopravníkovým systémem prošla kompletní předchozí objednávka. Všechny objednávky jsou tedy vydané jedna po druhé, ale není zaručeno pořadí jednotlivých položek v objednávce. [7]



Obr. 10 Přenos manipulačních jednotek při strategii Sekvenci objednávek. [7]

Oproti předešlé strategii počítá strategie Sekvence položek (viz Obr. 11) i se seřazením jednotlivých položek v rámci objednávek. Nevýhodou této strategie je zvýšení času, kdy je ulička skladu blokována, a to vede k horšímu výkonu manipulace s materiálem. [7]



Obr. 11 Přenos manipulačních jednotek při strategii Sekvence položek. [7]

#### **2.1.4 STRATEGIE SKLADOVÁNÍ SOUVISEJÍCÍ S ULIČKOU**

Kromě strategií napříč uličkami se používá řada strategií, které popisují typ a rozsah pracovních cyklů přímo v uličkách. [7]

Tyto strategie lze rozdělit na [7]:

- Strategie typu pohybu
- Strategie klidové polohy
- Strategie změny uličky
- Strategie nezaměstnanosti

Kromě nich existují další typy strategií, které určují konkrétní chování zakladače při zaskladňování a vyskladňování manipulačních jednotek. [7]

Lze je rozdělit na [7]:

- Strategie uskladnění
- Strategie vyskladnění
- Strategie přenosu jednotek
- Strategie přepravních bodů
- Sekvenční strategie

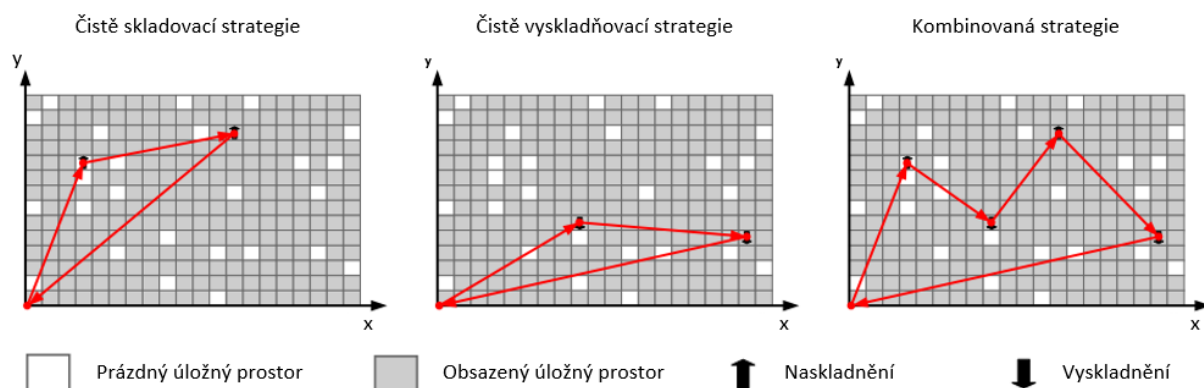
#### **STRATEGIE TYPU POHYBU**

Tato strategie určuje, kolik naskladnění a vyskladnění se provede v jednom pracovním cyklu. Konfigurace LAM je rozhodující pro počet procesů, které lze v rámci jednoho pracovního cyklu provést. [7]

Je možné tuto strategii rozdělit na [7]:

- Čistě skladovací strategie – dochází k ní tehdy, když má zakladač v určitém čase zadané pouze uskladňovací cykly.
- Čistě vyskladňovací strategie – když má zakladač v určitý čas zadané jen vyskladňovací cykly.
- Kombinovaná strategie – pokud má zakladač zadáno uskladňovat i vyskladňovat, tak dochází k ukládání i vykládání jednotek v rámci jednoho cyklu. Výhodou kombinované strategie je úspora času.

U zakladače se dvěma LAM je možné provést až dva procesy naskladnění nebo vyskladnění v rámci jednoho pracovního cyklu, a to u čistě skladovací, nebo čistě vyskladňovací strategie. U kombinované strategie je možné provést nakládání i vykládání dvou jednotek v rámci jednoho pracovního cyklu. Příklady těchto strategií pro zakladač se dvěma LAM je vyobrazen na Obr. 12. [7]



Obr. 12 Příklady strategií pro zakladač s dvěma LAM. [7]

### STRATEGIE KLIDOVÉ POLOHY

Strategie klidové polohy definuje, kde zakladač zůstane po skončení pracovního cyklu. Buď může zůstat na posledním místě své akce, nebo se může vrátit k přepravním bodům, anebo může předpovídat budoucí objednávku a podle toho jednat. [7]

### STRATEGIE ZMĚNY ULÍČKY

Při použití zakřivené dráhy zakladače nejsou zakladače vázány na jednu uličku úložiště, ale mohou působit v několika uličkách. Časy naskladnění a vyskladnění závisí na strategiích a počtu změn uliček. Strategie má za úkol zajistit co nejmenší počet přejezdů zakladače mezi uličkami kvůli časové úspoře a větší efektivitě. [7]

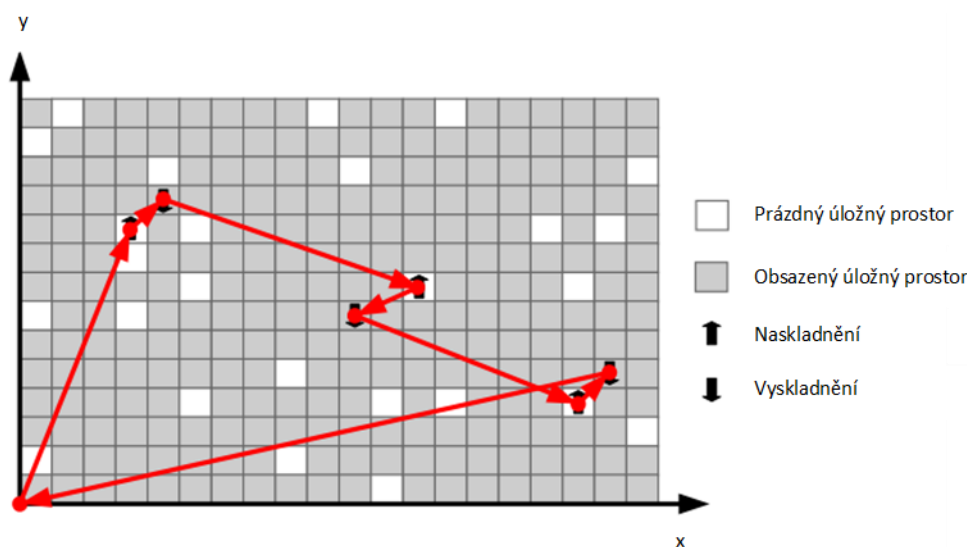
### STRATEGIE NEVYUŽITÍ ULÍČKY

Dobu nečinnosti zakladače lze využít k přeskládání jednotek v rámci uličky pro lepší vyskladňování budoucích objednávek. Například je možné přeskládat jednotky s vysokou pravděpodobností brzkého vyskladnění poblíž předávacích bodů, aby došlo ke snížení dráhy zakladače. Případně může zakladač rovnoměrně přeskládat jednotky, aby bylo zatížení skladu rovnoměrně rozloženo. Tato strategie není pro plánování skladů důležitá, jelikož při plném využití systému skladu nedochází k nevyužití uliček. [7]

### STRATEGIE USKLADNĚNÍ

Strategie uskladnění se používá, jak v jednořadě, tak i ve dvouřadě hloubce skladování, a určuje, kam má zakladač uložit jednotky. Tato strategie definuje obsazenost skladu a obvykle se snaží o rovnoměrné uspořádání jednotek ve stěně regálu. Zmíněné rovnoměrné rozložení (Chaotické skladování) má pozitivní vliv na statiku skladu. [7]

V rámci Kombinované strategie může být využita strategie Skladování v blízkosti, která již nevybírá úložný prostor čistě náhodně, ale je určena podle nejbližší jednotky určené k vyskladnění. Zakladač tedy vybere místo k uskladnění nejbližší k jednotce, která má být vyskladněna. Rozhodující je nejkratší doba jízdy zakladače. V nejlepším případě je jednotka určená k vyskladnění na stejném místě v protilehlém regálu od výložného místa a tím může dojít k vyskladnění, aniž by se musel zakladač pohybovat. Během této strategie nejdříve pracovní cyklus poskytuje naskladnění a poté vyskladnění. Pokud je zakladač vybaven více LAM, tak dochází k opakování těchto úkonů (viz Obr. 13). [7]



Obr. 13 Kombinovaná strategie s více LAM. [7]

Pokud má ulička dvojnásobnou šířku, používá se mírně upravená předchozí strategie. Jedná se o strategii Vícenásobné skladování v blízkosti. Při této strategii jsou dvě jednotky (které jsou na LAM) současně uloženy do jednoho ukládacího kanálu. Další dílčí strategie je Zónová strategie. Ta ukládá jednotky podle toho, jak často jsou potřeba. Jednotky, které bude potřeba častěji vykládat, jsou poblíž přepravních bodů a jednotky, které nejsou potřeba vyskládnovat často, jsou dál. Nevýhoda této strategie je obtížná klasifikace jednotek. [7]

### STRATEGIE VYSKLADNĚNÍ

Po objednávce má obvykle zakladač přístup k několika potřebným identickým jednotkám. Nejčastější strategie při vyskladnění je Strategie FIFO (First In First Out). Tato strategie zaručuje vyskladnění nejstarší jednotce v uličce. [7]

### STRATEGIE PŘEMÍSTĚNÍ JEDNOTEK

V uličkách s dvojitou hloubkou skladování může dojít k situaci, kdy se potřebná jednotka nachází v druhé řadě a přístupu k ní brání jiná jednotka. Zakladač musí nejdříve přemístit překážející jednotku a až pak vyskladnit požadovanou jednotku. Čím je sklad plnější, tím je tato situace pravděpodobnější. Pro přemístění překážející jednotky existuje řada strategií, jako např. Blízké přemístění – zde zakladač přemístí jednotku tak, aby mu tento úkon zabral co nejméně času. Další možnost je strategie Vyskladnění a přemístění. Ta funguje, když je zakladač vybaven LAM pro dvě jednotky. Vyskladní obě jednotky a překážející jednotku přesune do protějšího regálu a následně požadovanou jednotku dopraví do přepravního bodu. [7]

### STRATEGIE PŘEPRAVNÍCH BODŮ

Tato strategie zaručuje současně nakládání a vykládání manipulačních jednotek mezi LAM a přepravními body. [7]

### STRATEGIE SEKVENČNÍ

Tato strategii popisuje sekvenci vyskladnění a naskladnění pro časově co nejvhodnější trasu v rámci jednoho cyklu. Lze ji využít, když má zakladač několik LAM. [7]

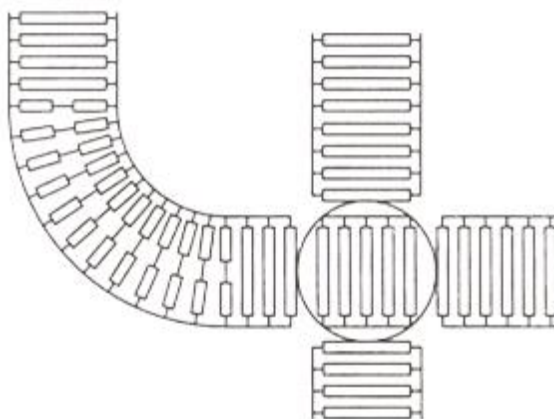
## 2.2 DOPRAVNÍKOVÉ TECHNOLOGIE

Pro fungování automatických skladů jsou důležité různé typy dopravníků.

### 2.2.1 VÁLEČKOVÝ DOPRAVNÍK

Tyto tratě se používají k dopravě kusového zboží. Klasickým znakem je řada válečků otočných pomocí čepů, nebo hřídelů, uložených v rámu. Tratě těchto dopravníků jsou tvořeny přímými úseky, oblouky i točnami. Točna je díl tratě, který je otočný kolem svislé osy. Schéma uspořádání válečkových tratí je vyobrazen na Obr. 14. [9]

Tyto dopravníky lze rozdělit podle druhu pohonu na nepoháněné a poháněné. Nepoháněné jsou takové, u kterých se předmět pohybuje postrkem, tažným orgánem. Dále mohou být ještě spádové (gravitační) dopravníky, u kterých se předměty pohybují díky vlastní tíze. U poháněných dochází k pohybu působením rotujících válečků. [9]



Obr. 14 Schéma uspořádání válečkových tratí. [9]

#### VÁLEČKOVÉ TRATĚ GRAVITAČNÍ

Gravitační trat je složena řadou válečků, které jsou uchyceny v rámu. Tento rám je možno nastavit ve vhodném sklonu, který umožňuje požadovaný pohyb předmětu. Aby docházelo ke klidnému chodu je třeba zvolit malou vzdálenost válečků tak, aby předmět vždy byl na dvou nebo třech válečcích. Tato volba závisí i na zatížení a nosnosti válečků. [9]

#### VÁLEČKOVÉ TRATĚ POHÁNĚNÉ

Součástí těchto tratí jsou hnané válečky. Hnané jsou buď všechny nebo alespoň některé, např. každý druhý. Krouťící moment se přenáší většinou hnacím řetězem na řetězové kolo přichycené k rotující části válečku, nebo tažným pásem. Prokluzné válečky přenáší moment třením mezi válečkem a hnacím hřídelem. [9]

Tratě lze rozdělit na [9]:

- Pracovní (ve výrobní lince)
- Dopravní (mezi pracovišti)

### **SPECIÁLNÍ VÁLEČKOVÉ DOPRAVNÍKY**

Flexibilní válečkové dopravníky mohou být poháněné (viz Obr. 15) nebo nepoháněné. Mohou být ohýbány kolem rohů a překážek. Zároveň se mohou natahovat a dopravovat tak materiál na delší vzdálenosti. [10], [11]

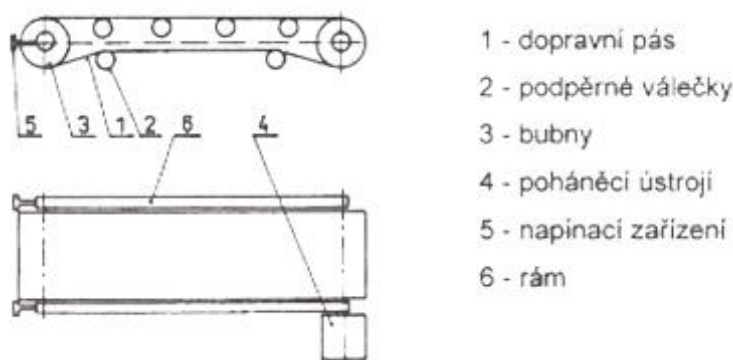


*Obr. 15 Flexibilní poháněný válečkový dopravník. [11]*

### **2.2.2 PÁSOVÉ DOPRAVNÍKY**

Pásové dopravníky se používají k dopravě sypkých i kusových materiálů ve vodorovném i šikmém směru. Nosným prvkem je pás, který je veden a poháněn pomocí bubnů a podpírán válečky nebo rovinou plochou. Princip pásového dopravníku je znázorněn na Obr. 16. [9]

Pás se při dopravě kusových materiálů pohybuje rychlostí v rozmezí od  $0,02$  do  $1 \text{ ms}^{-1}$ . Podpěrné válečky musí být při dopravě těžkých předmětů rozmístěny tak, aby materiál vždy ležel alespoň na dvou válečkách. [9]



Obr. 16 Schéma pásového dopravníku. [9]

## PÁSY

Pásky podpírá deska nebo válečky, které tvoří dráhu. Materiál pásů je obvykle pryž s textilní, syntetickou nebo kovovou vložkou, PVC (Polyvinylchlorid), ohebný ocelový pás nebo pletivo (drátěné). Obvykle mají pásky konstrukci s nosnou, tažnou a oběžnou vrstvou. Nosná vrstva zabezpečuje polohu materiálu na pásu. Tažná vrstva přenáší tažnou sílu. Oběžná vrstva zajišťuje přenos síly z hnacího bubnu na pás. Speciálním typem pásu jsou modulární pásky. Ty jsou složeny z vysoce odolných plastových modulů, které jsou spojeny pomocí spojovacích čepů – mohou být libovolně dlouhé i široké. [9], [12], [13]

## BUBNY

Bubny se rozdělují podle funkce na hnací a vratný. Hnací buben přenáší hnací moment na pás. Vratný buben může být konstrukčně navržen i jako napínací. Průměr bubnu závisí na typu pásu a na přenášeném výkonu. Provedení se doporučuje v soudkovitém, či lichoběžníkovém tvaru, aby pás z bubnu nesjížděl. [9]

## POHON

Jako pohon hnacího bubnu se obvykle používá asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko. Pohon lze zvolit jako jednobubnový nebo dvoububnový (viz Obr. 17). [9]

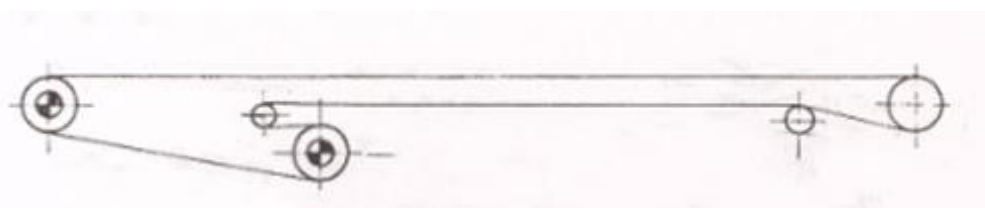
## USPOŘÁDÁNÍ

Uspořádání pásových dopravníků může být [9]:

- Elektrobuben s brzdou
- Motor, brzda, převodovka, příp. pomocný náhon řemeny nebo řetězy

Brzda je potřebná nejen pro zastavení dopravníku při doběhu, ale i pro zastavení zpětného chodu při šikmé dopravě. [9]





Obr. 17 Dvoububnový pohon. [9]

### PROVEDENÍ NAPÍNÁNÍ PÁSU

Vhodně napnutým dopravním pásem se zaručuje přenos sil z hnacího bubnu na pás a omezuje se tak průhyb mezi válečky. Napnutí pásu může být tuhé, konstantní silou nebo napínací silou regulovanou ručně či automaticky. Tuhé napínání bývá provedeno pomocí šroubu nebo ručního kladkostroje. Napínání konstantní silou bývá realizováno díky závaží v místě nejmenšího tahu. Mezi napínání napínací silou regulovanou ručně nebo automaticky lze zařadit napínací vozík ovládaný pneumatickým nebo hydraulickým válcem, vrátkem atd. [9]

### ODVÁDĚNÍ MATERIÁLU Z PÁSU

Odvádění materiálu z pásu bývá provedeno pomocí přepadu shazovacím stíračem nebo shazovacím vozíkem. [9]

### SPECIÁLNÍ PÁSOVÉ DOPRAVNÍKY

Pásový teleskopický dopravník (může být i válečkový) bývá použit k nakládání a vykládání kusového zboží z kamiónů, nebo přepravních kontejnerů. Dopravník je sestaven z více synchronně poháněných pásových dopravníků (Obr. 18), které lze dle potřeby vysunout a urychlit proces vykládání a nakládání. Zároveň lze nastavit výšku a snížit tak fyzickou námahu obsluhy. [14]



Obr. 18 Pásový teleskopický dopravník. [14]



### 2.2.3 TRENDY DOPRAVNÍKŮ

Moderní dopravníky jsou elegantní, efektivní a flexibilní. Dokážou zvládnout sérii úkolů, které se nevztahují pouze k přesunu produktu z jednoho místa na druhé. Jedná se například o měření váhy, šířky a výšky. Měření váhy je důležité, když dopravník předchází automatickému zakladači. Ten potřebuje znát hmotnost, aby správně zaskladnil paletu nebo plastovou bednu, vzhledem k nosnosti příslušného místa v regálu a celkové nosnosti skladu. Dalším trendem jsou dopravníky s nastavitelnou šířkou a dopravníky, které kooperují s automatizovaným nebo robotizovaným vybavením výroby či skladu. Co se týče pohonu, jsou stále častěji využívány elektrobubnové pohony. [12], [15]

Hlavním znakem elektrobubnu je umístění elektromotoru uvnitř válečku (bubnu). Na přítomnost elektromotoru upozorňuje elektrický kabel, který je dovnitř instalován z jedné strany středem hřídele válečku. Elektromotor má klasickou konstrukci a jeho rozměry jsou přizpůsobeny prostoru uvnitř válečku. Jedná se tedy o úzký (má malý průměr), ale dlouhý motor. Současně se uvnitř nachází i malá převodovka, která se skládá ze soustavy několika ozubených kol na jedné straně válečku. Otáčivý pohyb na výstupu převodovky není odveden ven, nýbrž pevně spojen s čelem nebo stěnou válečku a díky tomu váleček pohání. K samotnému pohonu se nejčastěji používají asynchronní, synchronní, nebo stejnosměrné BLDC (Brushless DC electric motor) motory. [16]

Elektrobubnový pohon (Obr. 19) má vyšší účinnost převodu elektrické energie na mechanický pohyb (až o 22 %). Dále je méně prostorově náročný, dochází ke snížení hlučnosti, zvyšuje bezpečnost pracovního prostředí (minimalizace vyčnívajících rotujících částí), má menší mechanické ztráty, instalační proces je jednodušší a je i méně náročný na údržbu. Ovšem při poruše motoru nebo opotřebení bubnu je nutné vyjmout celý buben, což není vždy snadné. Klasický elektromotor disponuje nižší hmotností. Jedná se o konstrukčně snazší řešení pro výrobu s přijatelnou cenovou dostupností. Elektrobubnový pohon může být využit, jak pro válečkový, tak i pásový dopravník. [15], [16]



Obr. 19 Elektrobubnový pohon. [16]

## 2.3 MANIPULAČNÍ PRŮMYSLÉ MOTOROVÉ VOZÍKY

Manipulační vozíky s motorovým pohonem představují největší skupinu manipulačních prostředků ve skladech. Využívají se k horizontální či vertikální dopravě palet, boxů, kontejnerů, krabic atd. Převážně tak materiál mezi jednotlivými zónami, např. mezi příjmem zboží a skladem, mezi jednotlivými sklady, linkami a expedicí atd. Pohonné jednotky jsou naftové, benzínové nebo plynové motory. Elektromotory poháněné akumulátorovými bateriemi se používají zejména pro menší nosnosti. Základní rozdělení manipulačních motorových vozíků lze vidět na Obr. 20. Dále se bude tato kapitola zabývat pouze tahači. [6]



Obr. 20 Rozdělení vozíků s motorovým pohonem. [6]

### 2.3.1 Tahače (VLÁČKY)

Jedná se o motorový vozík, který nemá možnost zvedání nákladu. Slouží k horizontální dopravě, jako tažný nebo tlačný prostředek. Obvykle se používá k tažení bezmotorových přívěsných vozíků. Tahače (Obr. 21) nemají úložnou plochu, a proto nemohou sami o sobě dopravovat břemena. [17]

Výhodou tahačů oproti vysokozdvížným vozíkům, které lze také použít pro horizontální dopravu, je nižší pořizovací cena, nižší provozní náklady a schopnost vléct několik přívěsných vozíků. Díky tomu se do výroby dostane více materiálu s menším počtem prostředků – a tedy i řidičů. Tahače zvládnou pracovat na mnohem menším prostoru, díky tomu se mohou zúžit uličky a uvolněný prostor lze využít např. pro další výrobu. Pro zásobování výrobních linek se využívají i bezobslužné vleky (tzv. AGV – Automatic Guided Vehicle), které využívají optickou, indukční, magnetickou, laserovou nebo satelitní navigaci. [6], [18]



*Obr. 21 Tahač Jungheinrich EZS 350. [18]*

O tahače, potažmo tažné soupravy, má zájem čím dál tím více firem z různých oblastí, proto výrobci tahačů pracují na inovacích, aby jejich tahače mohly být použity v náročnějších provozech a byly univerzálnější a spolehlivější. Z toho důvodu vývojáři zvyšují tažnou sílu, pracují na ovladatelnosti a vyšším komfortu obsluhy. V dnešní době se nejvíce uplatňují tahače na elektřinu, proto vývojáři pracují i na prodloužení doby pojezdu na jedno nabití. [18]

Pokud jde o vozíky, tak se zajímavým řešením přišla firma Wanzl. Jedná se o řízenou nápravu, která umožňuje hned několik možností manipulace. Pokud jsou vozíky zapojeny za tahačem, tak jsou v režimu řízených náprav. Když dojde k odpojení, tak se nápravy přepnou na systém dvou otočných a dvou pevných kol, což vede ke snazší ruční manipulaci. Lze i uvolnit směrovou aretaci zadních kol, což vede k tomu, že jsou všechna kola otočná. To zajišťuje zlepšení ruční manipulace v malém prostoru. Výhodou takto řízené nápravy je i to, že vozík perfektně kopíruje dráhu tahače. Díky tomu může projet i tam, kde by se jiné přípojné vozíky zadrhly. [18]

V budoucnosti mohou být tažné soupravy nahrazeny automatizovanými podvozky, které dokážou materiál přepravovat i bez tahače. Jedná se ovšem o velmi nákladné řešení a ve světě jej využívá pouze hrstka firem. [18]

### 2.3.2 AUTOMATIC GUIDED VEHICLE (AGV)

AGV jsou vozíky, která mají vlastní pohon a jsou schopny manipulovat s materiálem bez lidské obsluhy. Jedná se o nejvíce se rozvíjející typ manipulačních zařízení hlavně ve výrobních halách a velkých skladech. Tato zařízení snižují dobu manipulace s materiálem, zvyšují přesnost, předcházejí zraněním atd. [19], [20]

Podle účelu lze AGV rozdělit na hlavní typy [20]:

- Vidlicové vozíky
- Vozíky s palubním dopravníkem
- Tahače
- Pohyblivé regály

AGV vozíky se pohybují v rámci pevného (globálního) souřadnicového systému, který může reprezentovat např. výrobní halu nebo sklad. Může mít počátek na stropu haly, nebo v rohu sledovaného prostoru. Samotný vozík má také souřadnicový systém (mobilní). Tento systém je umístěn ve středu vozíku, v těžišti nebo ve středu jedné z jeho náprav. Systém tedy nedefinuje pohyb vozíku, nýbrž pohyb ve vztahu k vozíku. Globální souřadnicový systém komunikuje s vozíkem nejčastěji pomocí Wi-Fi sítě. [19], [20]

Vozíky AGV lze také roztřídit dle typu navigace. Navigace slouží k určení polohy vozíku, ke změně trasy v případě náhlé překážky a k zajištění bezpečné jízdy na cílové místo. [20]

Druhy navigace tedy jsou [20]:

- S řídicími prvky na podlaze
  - Optická navigace
  - Indukční navigace pasivní
- S řídicími prvky v podlaze
  - Indukční navigace aktivní
  - Magnetická navigace
- Laserová navigace
- Satelitní navigace (GPS, LPR)
- Multinavigace

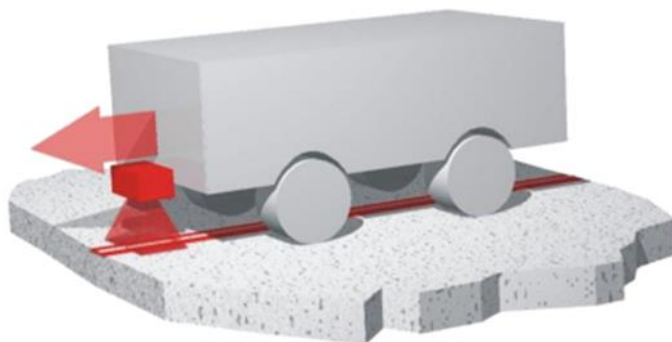
AGV vozíky jsou poháněny elektromotorem, jehož zdrojem je buď akumulátorová baterie nebo zdroj s indukčním přenosem energie (bezdrátový přenos energie z podlahy do vozíku). Tyto indukční vozíky pak mají dráhu stanovenou rozvodem kabelů v podlaze (tzv. indukční aktivní navigace). Akumulátorové baterie jsou ovšem nejpoužívanější. Jejich výhodou je bezproblémové používání v různých částech podniku a mobilita při výrobě. Nevýhodou je pak velká hmotnost a samotné dobíjení. [19], [20]

AGV vozíky mají obvykle dva motory. Jeden se stará o trakci a druhý o řízení vozidla. Samotné typy motorů se určují podle individuálních potřeb klienta. Nejčastěji se používají stejnosměrné motory, asynchronní motory a synchronní motor s permanentními magnety. [19], [20]

Pro manipulaci musí být AGV vozíky vybaveny bezpečnostními prvky, jakou jsou např. výstražná světla a zvukové signály, nouzový vypínač, mechanické brzdy, systém ochrany osob a bezpečnostní PIN. [19], [20]

### OPTICKÁ NAVIGACE

Optická navigace (Obr. 22) funguje díky snímáním barevných pásků na podlaze. Vozík je vybaven optickým snímačem, který používá algoritmus k detekci hran a díky tomu vyhodnotí vodící signály pro řídicí motor. K tomu, aby tato navigace správně fungovala, musí být nalepené barevné pásky odolné, musí být rozeznatelné od podlahy a nesmí na nich být nečistoty. Pásky lze dle potřeby upravovat např. při změně dráhy. Může se přes ně jezdit také dalšími manipulačními prostředky. Díky snadnému zavedení a změně trasy se jedná se o nejlevnější a nejjednodušší druh navigace. [19], [20]

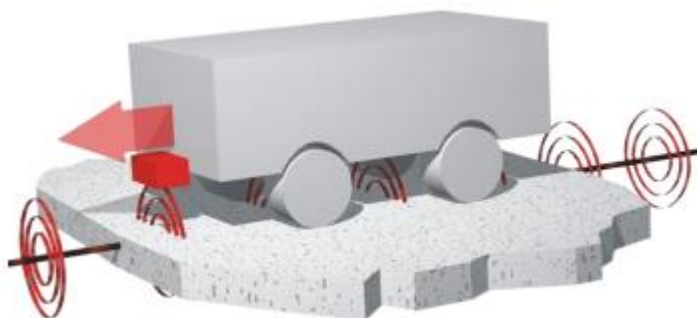


Obr. 22 Optická navigace. [21]

### INDUKČNÍ NAVIGACE

Princip indukční navigace je podobný optické navigaci. Lze ji rozdělit na aktivní a pasivní navigaci. [20]

Aktivní indukční navigace (Obr. 23) funguje díky vodičům v podlaze, kterými prochází proud. Lze je rozdělit do několika samostatných okruhů. Tyto okruhy lze zapínat jednotlivě podle potřeby. Vozík je vybaven dvěma cívkami. Proud protékající vodičem vytváří rozdílné proudy na obou cívkách. Diference těchto proudů na cívkách je měřítkem odchylky vozíku od vodící čáry. Řídicí motor pak vyrovnává odchylku a vytváří zápornou zpětnou vazbu. Změna frekvence střídavého proudu přikazuje vozíku upravit pohyb. Jedná se o finančně náročnější a pro své umístění v podlaze i složitější variantu. Vodící dráhy lze obtížně měnit. Výhodou této varianty vůči optické je umístění vodiče v podlaze, nedochází při provozu k jeho poškození. [19], [20]



Obr. 23 Aktivní indukční navigace. [21]

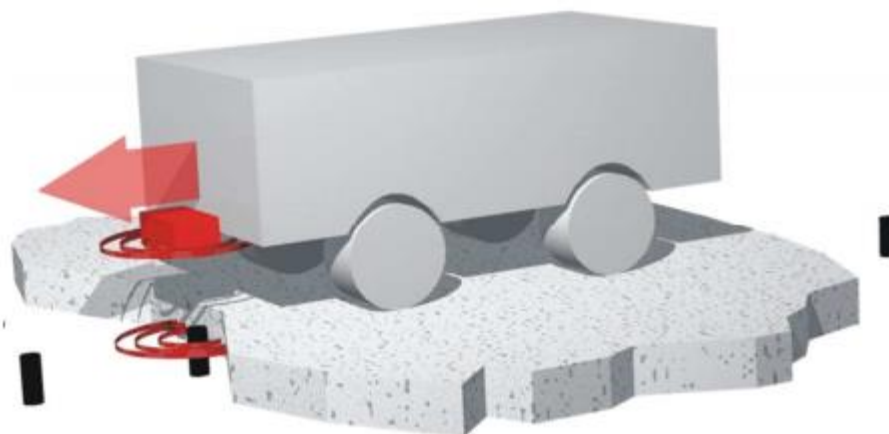


U pasivní indukční navigace je vodící dráha tvořená pásy o šířce 5–10 cm nebo jednoduchými kovovými proužky, které jsou umístěny na podlaze. Pod vozíkem se nachází snímač, který má dva až tři senzory magnetického pole. Řídící motor reaguje podle změny pole. Optimální vzdálenost pro čtení je mezi 10–30 mm. [19], [20]

### MAGNETICKÁ NAVIGACE

Magnetická navigace (Obr. 24) funguje díky vodícím značkám v podlaze. Tyto značky definují polohu vozíku a jsou vyrobeny jako permanentní magnety válcového tvaru o průměru 8–20 mm a o délce 5–30 mm. Mohou být uspořádány v řadě, obvykle od 1 do 10 m od sebe, nebo v mřížce, kde jsou rozestupy menší než šířka vozíku. Mřížkové uspořádání zlepšuje flexibilitu vozíku. Přesnost pohybu vozíku závisí na správném zvolení jednotlivých rozestupů značek. Magnetické senzory, které jsou umístěny na podvozku vozíku, snímají magnety a získaná data pak vyhodnocuje procesor, který zhodnotí polohu vozíku a stanoví další směr pohybu. [19]

Výhodou této varianty je, že nedochází ke znečišťování vodící dráhy vozíku, tak jako u indukční navigace. Nevýhodou této varianty jsou poměrně vysoké náklady na realizaci. Výše nákladů se odvíjí od přesnosti navigace (rozestupy mezi značkami). S tímto způsobem řízení manipulačních vozíků je nezbytné počítat už při stavbě haly. Magnety rozmístěné v mřížce se dají použít i pro venkovní prostory. [19], [20]



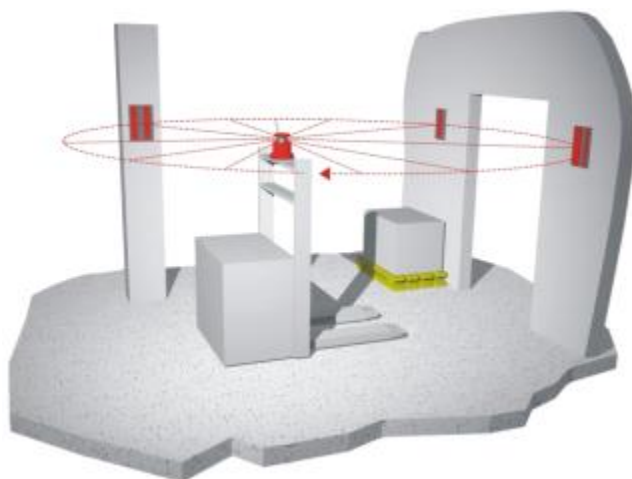
Obr. 24 Magnetická navigace. [21]

### LASEROVÁ NAVIGACE

Jedná se o nevíce používaný druh navigace a současně o hlavní konkurenční technologii magnetické navigace. Aby laserová navigace správně fungovala, musí mít umístěná čidla (reflektory) do prostoru, ideálně na stěnách nebo sloupech a ve výšce cca 2 metry. Alternativa čidel (reflektorů) jsou nalepené reflexní pásky. K správné funkci je potřeba, aby byly viditelné alespoň dva nebo tři reflektory (pásy). Vozík vysílá laserové paprsky, které snímají prostor kolem vozíku. Odražené paprsky od reflektorů sbírá snímač a tím zjišťuje průběžné polohy čidel vůči vozíku. Poloha čidel ve formě souřadnic je vyhodnocena počítačem vozíku. Ten poté opravuje odchylku od stanovené trasy. Odchylka může být také tvořena opotřebením kol, nerovností terénu, zatížením atd. Trasa v paměti vozíku je buď naprogramovaná, nebo se ji vozík „naučí“. To znamená, že se trasa do paměti zanesne zkušební jízdou. V členitém terénu

může mít tato navigace problémy. Proto se používá v kombinaci s magnetickou navigací. [19], [20]

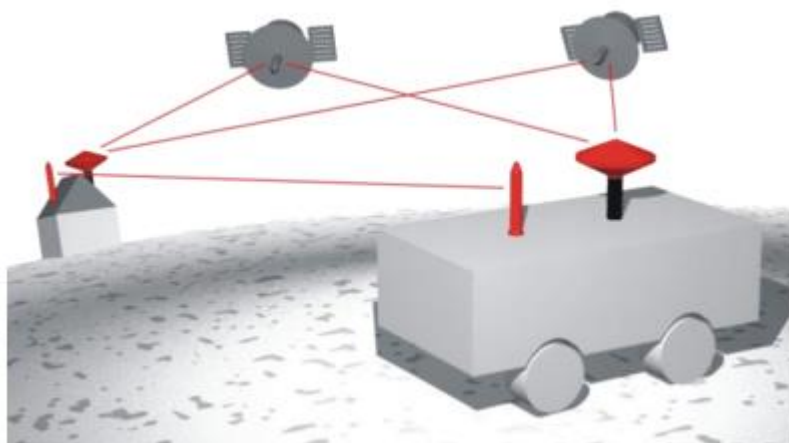
Laserová navigace (viz Obr. 25) je velmi přesná a lze ji do haly zabudovat dodatečně. Nemusí se nic zabudovávat do podlahy. [20]



Obr. 25 Laserová navigace. [21]

### SATELITNÍ NAVIGACE (GPS, LPR)

Pro velké a otevřené prostory lze využít satelitní GPS (Global Positioning System) navigaci (Obr. 26). Tato navigace funguje díky snímání vzdálenosti mezi GPS přijímačem a satelitem na oběžné dráze. Aby tato varianta správně fungovala, nesmí být žádná překážka mezi GPS přijímačem a satelitem. Výhodou této varianty je využití ve venkovních prostorech, ale je často nepřesná. [19], [20]



Obr. 26 Satelitní navigace GPS. [21]

Pokud jde o satelitní navigaci v zastavěných prostorech, tak lze využít tzv. LPR (Local Positioning Radar). LPR (viz Obr. 27) funguje díky rádiovým majákům, které nahrazují satelity. Jedná se o menší, přesnější a levnější systém, než je GPS, který jen komplikovaně

dosahuje přesnosti  $\pm 10$  cm (většinou více). Pokud se správně umístí majáky, tak lze pokrýt celou vyžadovanou oblast. [19], [20]



Obr. 27 Satelitní navigace LPR. [21]

## MULTINAVIGACE

Jedná se o systém, který se využívá u členitého prostoru skladu nebo výroby. Používají se zde různé druhy navigací např. laserová navigace a magnetická navigace. Vozíky využívají pro daný okamžik vhodné systémy, aby co nejpřesněji zjistili svou polohu. [19], [20]

## POROVNÁNÍ AGV NAVIGACÍ

V Tab. 2 jsou porovnané druhy navigací, podle několika kritérií. [22]

Tab. 2 Porovnání navigace AGV vozíků. [22]

Hodnocení z hlediska	Typ navigace					Legenda
	Optická	Indukční	Magnetická	Laserová	Satelitní	
Flexibilita vozíku	0	0	0	+	++	
Přesnost	++	+	+	+	-	++ velmi dobré
Funkce při znečištění trasy	--	++	++	-	++	+ dobré
Provedení konstrukce	++	0	0	-	-	0 neutrální
Původní investice	++	-	-	-	--	- špatné
Funkce při změně trasy	++	-	-	+	++	-- velmi špatné

Z tabulky a jejich sledovaných hodnot vyplývá, že optická navigace je nejvýhodnější. Jedná se o přesnou navigaci, má jednoduchou konstrukci a lze u ní snadno měnit trasu. Je i zároveň nejlevnější variantou. Její slabinou je, že když dojde ke znečištění trasy, tak hůře funguje. [22]



### 3 POČÍTAČOVÁ SIMULACE

Počítačová simulace je v současné době nezbytnou součástí při navrhování každé rozsáhlejší výrobní oblasti. Slouží k vyzkoušení technických systémů ještě před tím, než dojde k jejich realizaci. To vede k větší důvěře v navrhované řešení. [2], [23]

V rámci jednotlivých fází vývoje technického systému lze počítačové simulace použít například k následujícím úkonům [23]:

- Fáze plánování
  - Identifikace úzkých míst s možným vylepšením
  - Odhalení skrytých, nevyužitých potenciálů
- Fáze implementace
  - Testy výkonnosti
  - Analýza problémů, test výkonnosti podle budoucích požadavků
  - Simulace za výjimečných systémových podmínek
- Fáze provozu
  - Testování alternativ regulace
  - Přezkoumání havarijních strategií

#### 3.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Tato kapitola pojednává o důležitých pojmech, jako je systém, simulační model, simulace atd. Jedná se o pojmy využívané v rámci počítačové simulace. [23]

##### 3.1.1 SIMULACE

Simulace je kopie skutečného systému s jeho dynamickými procesy. Cílem je dosáhnout přenositelných zjištění pro realitu. V širším smyslu znamená simulace přípravu, implementaci a vyhodnocení konkrétních experimentů v rámci simulačního modelu. [23]

##### 3.1.2 SIMULAČNÍ MODEL

Model je zjednodušená replika plánovaného nebo stávajícího systému včetně jejich procesů. Liší se od originálu pouze vlastnostmi, které jsou zadány v rámci tolerance. [23]

##### 3.1.3 SYSTÉM

Systém lze definovat jako samostatnou skupinu objektů, které jsou mezi sebou provázané. [23]

##### 3.1.4 SIMULAČNÍ BĚH

Simulační běh zobrazuje chování systému v simulačním modelu během stanoveného období. [23]

##### 3.1.5 EXPERIMENT

Experiment je cílená empirická studie chování modelu pomocí opakovaných simulačních běhů se systematickou variací argumentů. [23]

## 3.2 POSTUP ŘEŠENÍ V RÁMCI SIMULAČNÍHO PROJEKTU

Při řešení simulačního projektu se doporučuje dodržovat předepsaný postup [23]:

1. Formulace problému
2. Ověření vhodnosti prováděné simulace
3. Formulace cílů
4. Získání dat a jejich analýza
5. Modelování
6. Provádění simulačních běhů
7. Zhodnocení
8. Dokumentace

### 3.2.1 FORMULACE PROBLÉMU

Simulační projekt začíná formulováním požadavků na simulaci. Na tomto se musí domluvit zadavatel simulace se simulačním expertem. Výsledkem by měla být písemná dohoda (např. Technická specifikace), která obsahuje konkrétní problémy, které budou studovány pomocí simulace. [23]

### 3.2.2 OVĚŘENÍ VHODNOSTI PROVÁDĚNÍ SIMULACE

Ne vždy je použití počítačové simulace vhodné, proto je v rámci postupu řešení simulačního projektu i ověření vhodnosti simulačních metod. Zároveň se zjišťuje, zda není časově nebo finančně lepší problém řešit jinými metodami. [23]

### 3.2.3 FORMULACE CÍLŮ

Každá společnost usiluje o řadu cílů. Obvykle se tato řada skládá z hlavního cíle (např. co největšího zisku společnosti), který lze rozdělit do různých dílčích cílů, které na sebe vzájemně působí. Definice těchto dílčích cílů je důležitým přípravným krokem. Mezi časté dílčí cíle patří minimalizace času průběhu určitého procesu, maximalizace využití systému, minimalizace zásob a snížení času dodání. Všechny definované cíle musí být shromážděny a analyzovány na konci simulačních běhů, což pro simulační model znamená, že musí být do určité míry detailní. Tato detailnost určuje rozsah simulačního projektu. [23]

### 3.2.4 ZÍSKÁNÍ DAT A JEJICH ANALÝZA

Pro vypracování simulačního projektu jsou zapotřebí vstupní data. [23]

Tato data lze strukturovat následovně [23]:

- Technická data – výrobní schémata, výrobní údaje, údaje o materiálovém toku, údaje o poruchovosti atd.
- Organizační data – organizace pracovní doby, organizace výroby atd.
- Údaje o využití systému – údaje o zakázkách, údaje o výrobcích atd.

### 3.2.5 MODELOVÁNÍ

Modelování zahrnuje sestavení a testování simulačního modelu. Lze jej rozdělit do dvou kroků. [23]

### SESTAVENÍ POJMOVÉHO MODELU

Pojmový model musí upřesňovat podstatné znaky fungování systému. Lze jej realizovat jako písemný popis, schematický popis, vývojový diagram atd. [23]

### PŘEVEDENÍ POJMOVÉHO MODELU DO SIMULAČNÍHO PROGRAMU

Během tohoto kroku dochází k implementaci pojmového modelu do simulačního modelu. Pro kontrolu je zapotřebí také provést verifikaci a validaci. Pro pozdější úpravu je důležité, aby byla zpracována dokumentace k simulačnímu modelu. [23]

Verifikace modelu je stanovení, jestli vytvořený počítačový model reprezentuje pojmový model s definovanou mírou přesnosti. Validace modelu je určení, zda vytvořený počítačový model dokládá dostatečnou míru shody s modelovaným systémem s ohledem na použití modelu. [24]

#### 3.2.6 PROVEDENÍ SIMULAČNÍCH BĚHŮ

Zhotovený a zkontrolovaný model lze následně podrobit simulačním experimentům, které zjistí chování systému za různých parametrů dle určitého plánu experimentů. Simulační běh je nejčastěji ohraničen časovým intervalem. Vstupní a výstupní data spolu se základními parametry simulačního modelu musí být vždy zdokumentovány pro každý experiment. [23]

#### 3.2.7 ZHODNOCENÍ

Správná interpretace výsledků simulace významně ovlivňuje úspěch projektu. Pokud jsou výsledky v rozporu s předpoklady, je nutné analyzovat, jaké vlivy jsou odpovědné za neočekávané výsledky. Důležité je také brát na vědomí, že systémy mají často fázi náběhu. Tato fáze může fungovat jinak ve skutečnosti a v simulaci. Výsledky získané během fáze náběhu proto nejsou často odpovídající a nemusí mít žádný vliv na vyhodnocení (výjimkou může být, když s fází náběhu model počítá). V rámci tohoto kroku jsou tedy nalezeny odpovědi na již dříve definované otázky (cíle). [23]

#### 3.2.8 DOKUMENTACE

O průběhu projektu by měla být vždy vypracována dokumentace. Jádrem by měla být prezentace výsledků simulace vzhledem k předem stanoveným cílům. Doporučuje se i sepsání nezdařených systémových variant a na závěr i popis simulačního modelu v rámci jeho struktury a funkčnosti. [23]

## 4 PŘEDSTAVENÍ FIRMY MARELLI AUTOMOTIVE LIGHTING

Počátek firmy Marelli Automotive Lighting Jihlava, s.r.o. se datuje k roku 1997. Původně spadala po firmu Bosch. Změny nastaly v roce 1999, kdy do společnosti vstoupila firma Magneti Marelli a od roku 2003 se stala jejím výhradním vlastníkem. Další změna přišla 1. května 2019, tehdy došlo k dalšímu sloučení se společností Calsonic Kansei. Ta má působnost v 15 zemích po celém světě a zaměřuje se na výrobu inovativních technologických součástí, především pro automobilový průmysl. [25]

Marelli Automotive Lighting Jihlava se zabývá vývojem a výrobou nejmodernějších předních světlometů pro automobily. Zaměstnává 2200 lidí a vyrobí 4,5 milionu světel za rok. Svá světla dodává pro mnoho zákazníků (viz Tab. 3). [25]

Tab. 3 Hlavní zákazníci Automotive Ligting. [25]

Zákazníci:	BMW	Daimler	VW a Škoda	Renault, Porsche, Peugeot, Honda,
Příklady aut se světly AL	BMW 4	Mercedes B-Class	Škoda Octavia A7	Honda Civic
	BMW 6	Mercedes CLA-Class	Škoda Yeti	Peugeot 308
	BMW X 3	Mercedes GL-Class	VW Touran	Renault Captur
	BMW X 5	Mercedes GLA-Class	VW Transporter	
	BMW Mini	Mercedes M-Class	VW Multivan	

V ČR jsou výrobní haly AL v Pávově a ve Střítěži. Výroba v Pávově začala v květnu 1999. Nachází se zde centrum výzkumu a vývoje světel, předvýroba (lisování, lakování) a samotná montáž sériových světlometů. Ve Střítěži jsou 2 haly (Hala D a Hala F). Zahájení výroby v Hale D bylo v roce 2006 a jsou zde vyráběny světlomety na náhradní díly. Provoz v Hale F začal roku 2012. Tato hala se zaměřuje na výrobu LED (Light-Emitting Diode) modulů (Obr. 28). [26]



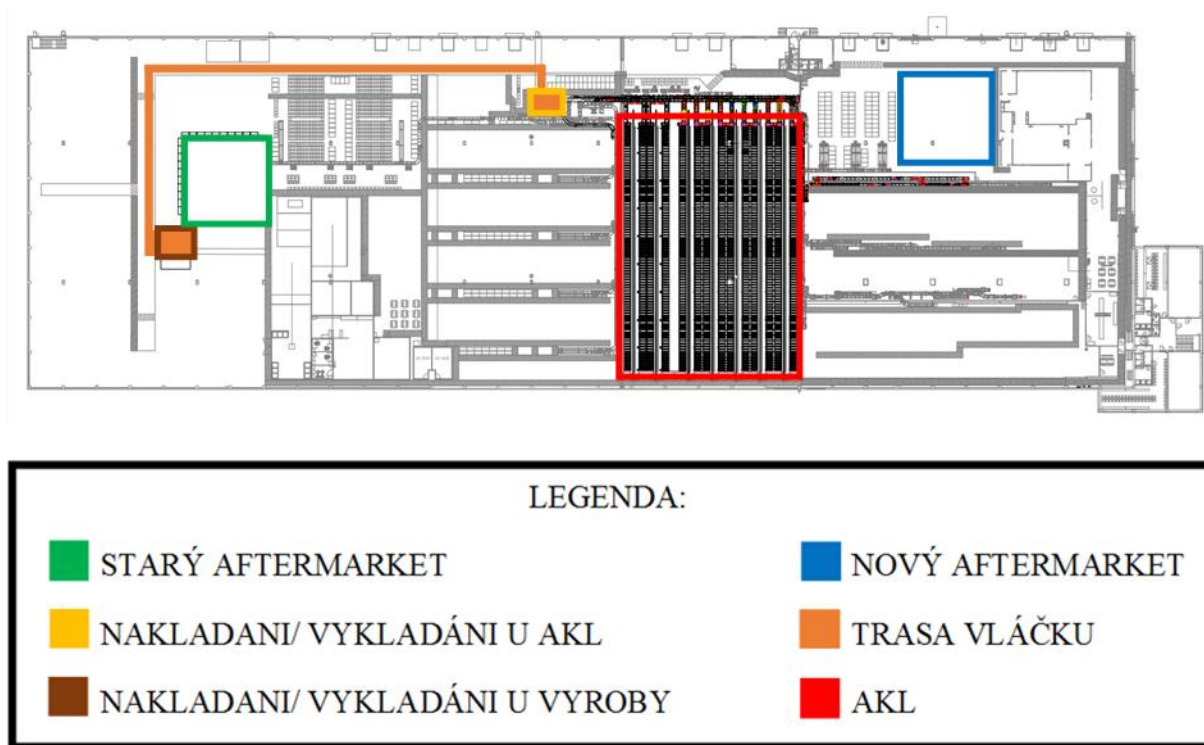
Obr. 28 Příklad LED světla. [27]

## 5 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

Touto kapitolou začíná praktická část diplomové práce. Řešená oblast se nachází v Hale F firmy Marelli Automotive Lighting Jihlava, s.r.o. (AL). Tato hala se nachází ve Střítěži a slouží, jak již bylo zmíněno, k výrobě LED modulů. Nachází se zde i výrobní oblast, kterou se zabývá tato práce. Jedná se o výrobní oblast, která slouží k výrobě součástí pro tzv. Aftermarket. Jde tedy o výrobu předních světlometů na náhradní díly.

### 5.1 FORMULACE PROBLÉMU

Na Obr. 29 je vyobrazen layout současného stavu Haly F s vyznačenými oblastmi. V zeleném rámečku je znázorněna aktuální poloha výrobní oblasti. Ta je zásobena materiálem pomocí AKL (červený rámeček). Manipulace s materiálem, mezi AKL a zmíněnou výrobní oblastí je zprostředkována pomocí operátora, vlačku a dopravníkového systému. AKL vyskladní materiál a předá jej dopravníkovému systému. Ten jej dopraví do nakládacího/ vykládacího prostoru u AKL (žlutý rámeček), kde jej operátor naloží na vlačku a odveze po oranžově zvýrazněné dráze k nakládacímu/vykládacímu prostoru u výroby (hnědý rámeček). Zde operátor přepřáhne přívěsy (přívěs s materiálem, který má jít do výroby, za přívěs s materiálem, který výrobou již prošel) a odveze hotový materiál k nakládacímu/vykládacímu prostoru u AKL (žlutý rámeček), kde vyloží hotový materiál. AKL dostane pokyn k vyskladnění a přes dopravníkový systém dodá materiál, který operátor naloží, odveze do výroby a celý cyklus se opakuje. V příloze (Příloha 1) je layout vyobrazen větší pro lepší přehlednost.



Obr. 29 Layout současného stavu s vyznačenými oblastmi. [28]

Problémem této koncepce je, že vláček často nestíhá zásobovat výrobu. Tím dochází k prostojům. Zároveň vláček při dopravování materiálu přejíždí přes frekventovaná místa, což je problém z hlediska bezpečnosti práce. Proto má firma v plánu přestěhovat výrobní oblast do prostoru označeným modrým rámečkem (Obr. 29). Výhodou tohoto prostoru je, že je zde možné napojení na dopravníkový systém, čímž by už nebyl zapotřebí vláček. Dále je zde možnost rozšíření výroby, což u stávajícího konceptu není možné, protože kvůli jiným pracovištím na to není prostor.

## 5.2 FORMULACE CÍLŮ

Jak již bylo zmíněno, cílem je navrhnout nový koncept, kde bude výroba přestěhovaná do nové oblasti a napojena na dopravníkový systém. Dále pomocí počítačové simulace porovnat oba koncepty. Obě řešení se budou porovnávat podle schopnosti dodávat materiál do výrobní oblasti (sledování možných prostojů), podle času, který stráví materiál v procesu atd. Předpokládá se, že nový koncept bude díky vynechání vláčku efektivnější a lepší variantou.

## 5.3 SPOLEČNÉ HODNOTY PRO OBA KONCEPTY

V této kapitole jsou definovány hodnoty a parametry, které jsou společné pro oba koncepty.

### 5.3.1 AKL

AKL skladuje materiál, který je uložen v manipulačních jednotkách (plastových bednách) o různých velikostech. V rámci zkoumaného problému se zvažují primárně dvě velikosti. Jedná se o bedny 594 x 396 x 235 mm (K1) a 397 x 298 x 180 mm (K3).

AKL má sedm uliček o různých velikostech. Celkově pojme až 59 840 beden o velikosti K1 nebo 118 912 beden o velikosti K3.

### 5.3.2 PRODUKCE VÝROBNÍ OBLASTI

Produkcí výrobní oblasti lze uvažovat jako průměrnou a maximální. Při průměrné linka vyprodukuje 133 manipulačních jednotek za hodinu a při maximální pak 273 manipulačních jednotek za hodinu.

### 5.3.3 DOPRAVNÍKOVÝ SYSTÉM

Každý koncept vyžívá jinou délku dopravníku. Základní parametry jsou ovšem pro oba koncepty stejné. Rychlost dopravníků je  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  a šířka dopravníku je 505 mm.

### 5.3.4 SMĚNOVÝ REŽIM

Zkoumaný aftermarket má jednosměnný provoz od pondělí do pátku. Začíná se v 6:00 ráno a končí ve 14:00 odpoledne. Pauza na oběd je od 11:30 do 12:00.

### 5.3.5 SLEDOVÁNÍ MATERIÁLU

Během celého výrobního procesu lze materiál sledovat díky čárovým kódům na krabicích, a to pomocí snímačů (čteček), které se nachází na všech důležitých místech. Díky tomu AKL dostává informaci, co naskladňuje a dopravníkový systém dostává informaci, kam má manipulační jednotku doručit atd.

## 6 STÁVAJÍCÍ KONCEPT

Tato kapitola pojednává o aktuální koncepci zásobování výrobní oblasti. Jak již bylo zmíněno, v současné době je aftermarket zásobován pomocí operátora, AKL, dopravníkového systému a vláčku.

### 6.1 START VÝROBY

Při zahájení výroby dostane výrobní oblast první dávku materiálu ze skladu, který se nachází vedle ní (viz Obr. 30). Tento sklad dodává materiál pro prvních 40 minut výroby. Zásobování v rámci aftermarketu zajišťují dva navažeči, kteří materiál určený do výroby přenášejí ze skladu pro první dávku k výrobním linkám, kde jej operátor zpracuje a navažeč hotový materiál odnese a naloží do přívěsu. Při zajištění výroby navažeč zásobuje výrobní oblast materiálem, který přivezl vláček a hotový materiál nakládá zase do přívěsu.



Obr. 30 Popis stávajícího konceptu. [28]

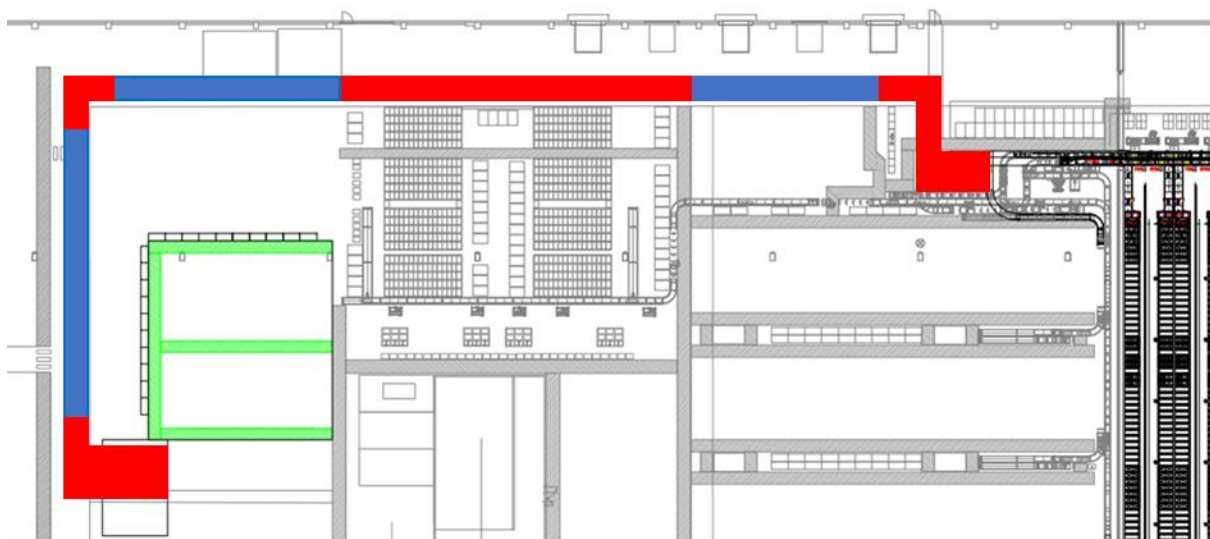
### 6.2 VLÁČEK A OPERÁTOR

Vláček je podle potřeby vybaven 1 až 3 přívěsy a je řízen operátorem. Každý přívěs uveze až 15 manipulačních jednotek. Rychlost přepravy je rozdílná pro dané úseky (viz Obr. 31). Točny, zatáčky a frekventované úseky jsou vedeny jako rizikové a vláček zde nemůže jet plnou rychlostí (předpokládá se  $3 \text{ kmh}^{-1}$ ). Přímé, nefrekventované úseky jsou označeny jako normální a vláček zde může jet maximální rychlostí. Tedy až  $6 \text{ kmh}^{-1}$ .

U dopravníkového systému operátor vykládá materiál na dopravník, který jej přepraví k dalšímu zpracování, nebo k expedici. Poté, co manipulační jednotku vyloží, dopravníkový systém načte čárový kód a tím dostane AKL pokyn k vyskladnění daného materiálu. Následně operátor takto vyloží všechny přívěsy a mezitím dopravníkový systém dodá materiál k výstupu z dopravníkového systému od AKL, kde jej operátor zase naloží na vláček a odveze k výrobní oblasti.



U výrobní oblasti už operátor náklad nevykládá, nýbrž přepřahává přívěsy. Nachází se zde vždy souprava přívěsů, na kterou navažeči nakládají hotový materiál. Když přijede vláček s nákladem od AKL, tak operátor přepřáhne tyto přívěsy a odveze hotový materiál. Doba trvání přepřáhnutí je přibližně půl minuty (pro potřeby simulace je uvažovaná konstantní hodnota 30 sekund). Celý cyklus vláčku se následně opakuje.



LEGENDA:

Rychlost vláčku: 6 km/h

NORMÁLNÍ ÚSEK

Rychlost vláčku: 3 km/h

RIZIKOVÝ ÚSEK

Obr. 31 Rozdělení trasy vláčku na úseky podle rychlosti jízdy. [28]

Ideální strategie odjezdů vláčku je, když má plné přívěsy. Ve skutečnosti ovšem operátor často odjíždí dřív. U výrobní oblasti to není problém, vláček odjede nezaplňený, protože už operátor nechce čekat až mu linka aftermarketu vyprodukuje materiál k doložení přívěsů. U dopravníkového systému už to však problém je. Když vláček odjede dříve, tak některé jednotky zůstanou ve výstupní větvi dopravníku. Pokud jich je více než je kapacita zmíněné výstupní větve, tak jsou ponechány v tzv. Loop-u (smyčce) dopravníkového systému, dokud nedojde ke snížení obsazenosti výstupní větve. Díky tomu dochází často ke kumulaci jednotek v dopravníkovém systému.

Když se blíží obědová pauza, tak vláček končí buď u nakládacího/ vykládacího prostoru u AKL nebo u nakládacího/ vykládacího prostoru u výroby. Před koncem směny ale vláček vždy končí u výroby.

### 6.3 DOPRAVNÍKOVÝ SYSTÉM

Výstupní větev dopravníku, který dodává materiál z AKL, má kapacitu 7 jednotek. Vyskladnění AKL jedné jednotky a doprava dopravníkovým systémem až po výstupní větev trvá přibližně 3 minuty.

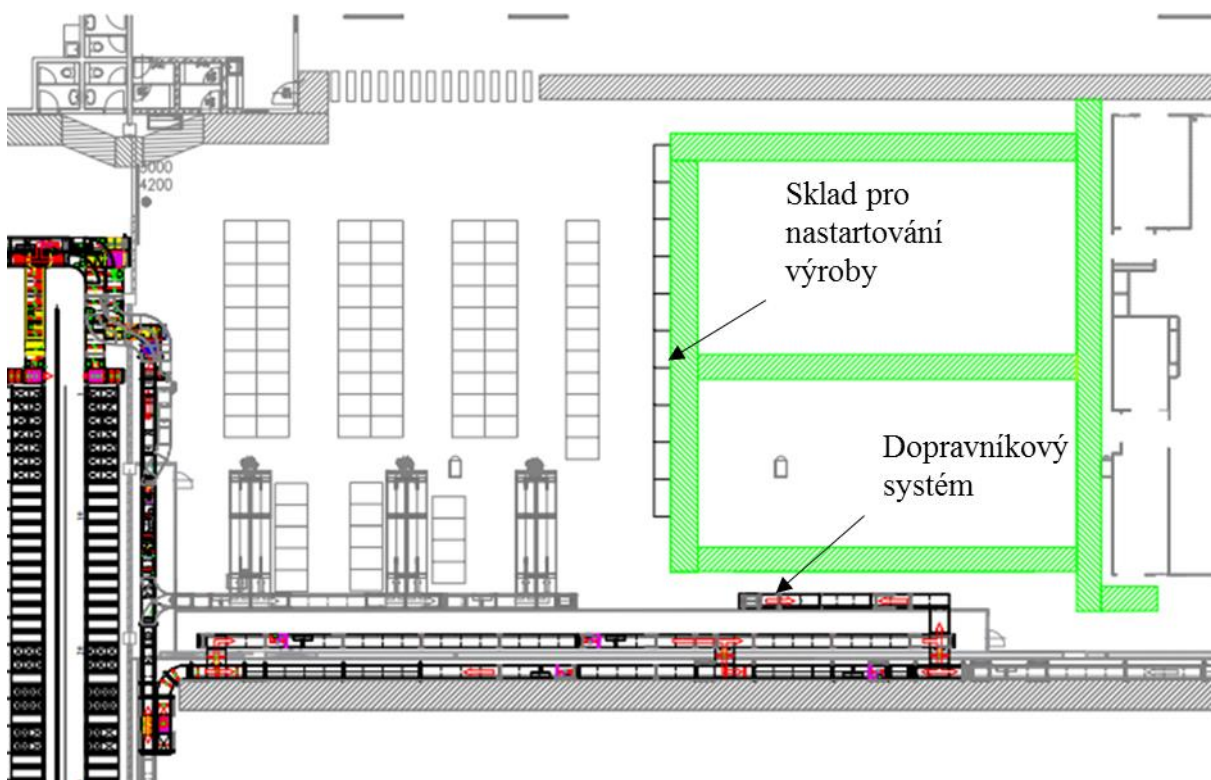


## 7 NOVÝ KONCEPT

Tato kapitola pojednává o novém konceptu zásobování výrobní oblasti. Jak již bylo zmíněno, nový koncept počítá s přestěhováním výrobní oblasti a napojení na dopravníkový systém (viz Obr. 32). Návrh celého layoutu nového konceptu je vyobrazen v příloze (Příloha 2).

Nový koncept počítá (podobně jako ten původní) s využitím skladu u výrobní oblasti pro první dávku materiálu k nastartování výroby. Rozdílem je, že v rámci tohoto konceptu je sklad menší a dodává materiál pouze na prvních 20 minut. Navažeči plní stejnou úlohu, jako v předešlém konceptu – tedy přenášejí materiál určený do výroby ze skladu pro první dávku k výrobním linkám, kde jej operátor zpracuje a navažeč odnese a vloží jej na dopravníkový systém. Při zajištění výroby navažeč zásobuje výrobní oblast materiálem, který převezl dopravníkový systém a hotový materiál předává zpátky dopravníkovému systému.

Poté, co zakladač položí manipulační jednotku s hotovým materiálem na dopravník, načte se čárový kód a AKL dostane pokyn k vyskladnění určitého materiálu. Následně hotový materiál putuje k dalšímu zpracování nebo k expedici a materiál z AKL putuje k výrobní oblasti. Dopravníkový systém je vybaven 2 dopravníky. Jeden je ve výšce 0,6 m a slouží k distribuci jednotek do výrobní oblasti. Druhý je ve výšce 1,2 m a slouží k odvodu hotového materiálu z výrobní oblasti.



Obr. 32 Detail nového konceptu. [28]

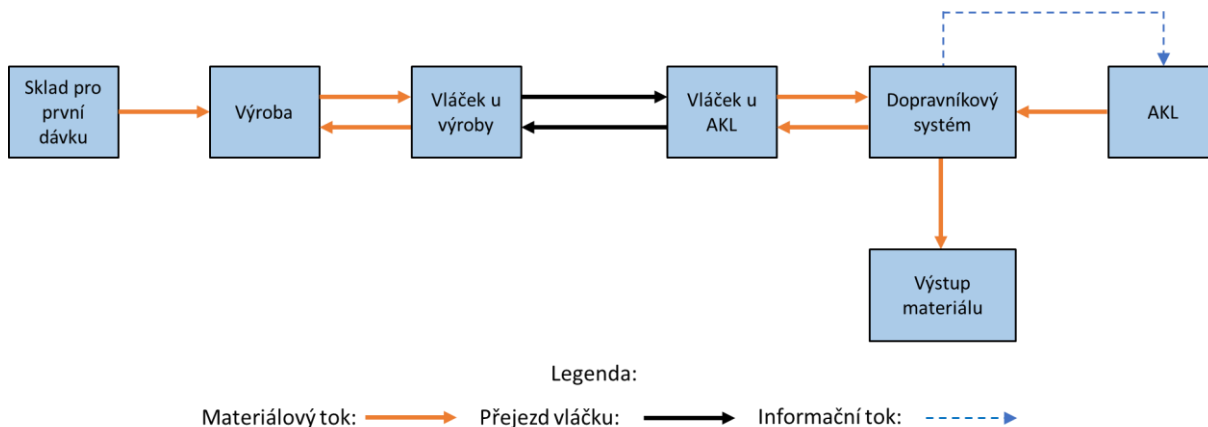
Když se blíží konec směny nebo přestávka, tak musejí navažeči dát pozor, aby se dopravníkový systém neucpal vlivem příjíždějících jednotek. Z tohoto důvodu poslední jednotky nechávají u výrobní oblasti a vloží je na dopravník až začne směna. Musí si tedy hlídat, aby nedorazilo více jednotek než je kapacita výstupního dopravníku (12 ks).

## 8 POČÍTAČOVÁ SIMULACE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Počítačová simulace je provedena pomocí programu Tecnomatix Plant Simulation. Oba koncepty byly namodelovány v rámci jednoho simulačního modelu (viz Příloha 3). Přepínání mezi nimi zajišťuje rozbalovací seznam zvýrazněný ve zmíněné příloze žlutým rámečkem. Modrým rámečkem je vyobrazena oblast původního konceptu, který řídí rozbalovací seznam označený zeleným rámečkem. V červeném rámečku je naznačena oblast nového konceptu. Poslední rámeček je fialový a ten znázorňuje AKL, který funguje pro oba koncepty. Pro potřeby simulace byl výrobní materiál (manipulační jednotka) vždy považován jako stejný a neměnný.

### 8.1 POJMOVÝ MODEL PŮVODNÍHO KONCEPTU

Na Obr. 33 je vyobrazen pojmový model původního konceptu. Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, tak vše začíná ve skladu pro první dávku. Tento sklad dodá materiál výrobě. Po výrobních operacích je hotový materiál naložen na vláček u výrobní oblasti. Vláček jej poté odveze k dopravníkovému systému u AKL, kde jej operátor vyloží na dopravníkový systém a odtud následně putuje k výstupu materiálu. Současně s vyložením materiálu na dopravníkový systém dostane AKL pokyn k vyskladnění daného materiálu, který má být zpracován ve výrobě. Díky tomu AKL dodá materiál do dopravníkového systému, ten jej přepraví k oblasti odkud jej operátor vezme a naloží na vláček. Poté je materiál odvážen zpět k výrobě. Zde dochází k přepřáhnutí přívěsů vláčku a materiál je dodán do výroby. Z výroby zase vláček odváží hotový materiál a celý cyklus se opakuje.



Obr. 33 Pojmový model původního konceptu. [28]

### 8.2 POPIS SIMULAČNÍHO MODELU PŮVODNÍHO KONCEPTU

V příloze (Příloha 3) je vyobrazen detail rozbalovacích seznamů pro určení strategií v rámci stávajícího konceptu. Start výroby definuje strategii prvního odjezdu vláčku od výrobní oblasti. Lze nastavit ideální variantu, to znamená, že vláček odjede plný. Další možností je, že vláček odjede se 75% obsazeností anebo bude čas strávený u výrobní oblasti během prvního naložení omezen časovým intervalem. Seznam Počet přívěsů určuje, kolik má vláček přívěsů. Lze nastavit jeden až tři přívěsy. Další seznam, který je označen jako Produkce Aftermarketu, definuje, jakou bude mít Aftermarket produkci. Může být průměrná, nebo maximální. V rámci seznamu Logika rozjezdu vláčku, lze nastavit za jakých okolností bude vláček odjíždět od výrobní oblasti, nebo od dopravníkového systému u AKL. Lze nastavit, že odjede vždy

s plnými přívěsy, což je ideální varianta, nebo že celý cyklus (kromě první cesty z výrobní oblasti) bude vláčku trvat přibližně 10 minut a že bude odjíždět alespoň s 75% obsazeností přívěsů od výrobní oblasti. Hodnota časového omezení je při každém cyklu vláčku jiná a je generována náhodně (rovnoměrně) z rozsahu, který je určen počtem přívěsů (viz Tab. 4).

Tab. 4 Rozsah intervalu cyklu vláčku. [28]

Počet přívěsů [ks]	2	3
Časový interval [mm:ss]	9:30 – 10:30	9:45 – 10:45

Poslední seznam je Omezení čekání vláčku u výroby, který doplňuje předchozí seznam. Lze v něm nastavit, že setrvání vláčku u výrobní oblasti nebude omezeno pouze minimální 75% obsazeností, ale i časovým intervalem. Jedná se o interval, který je generován náhodně (rovnoměrně) a je vždy pro všechny varianty stejný, tedy od 2 do 3 minut. Tyto časové intervaly simulují nahodilost odjezdů vláčku od výrobní oblasti a od dopravníkového systému a tím simulují vznikající kumulace materiálu v dopravníkovém systému. V rámci tohoto seznamu je i možnost Původní, která anuluje časové omezení.

V Tab. 5 jsou uvedeny možnosti nastavení rozbalovacích seznamů pro určení strategií v rámci stávajícího konceptu. Jedná se pouze o možnosti, se kterými se počítá během experimentů. Ostatní jsou tedy navíc.

Tab. 5 Možnosti nastavení rozbalovacích seznamů pro určení strategií v rámci stávajícího konceptu. [28]

Seznam:	Start výroby:	Počet přívěsů:	Produkce Aftermarketu:	Logika rozjezdů vláčku:	Omezení čekání u výroby :
Možnosti:	Plné přívěsy	3	Průměrná	Plné přívěsy	Původní
	75% kapacity	2	Maximální	Omezení 75%/ 10 min	75% s omezením
		1			

Simulační model stávajícího konceptu lze rozdělit na část modelu u Aftermarketu a u AKL.

### 8.2.1 POPIS ČÁSTI MODELU U AFTERMARKETU

Náhled na část modelu u výrobní oblasti je znázorněn na obrázku v příloze (Příloha 4). Ve tmavě žlutém rámečku je označena výrobní stanice, která nahrazuje všechny výrobní stanice reálného systému. Zároveň jsou zanedbány operace navažečů, jelikož jejich sledování není cílem této práce. V rámci modelu je uvažováno, že tato výrobní stanice vyprodukuje při průměrné produkci 133 ks manipulačních jednotek za hodinu, což odpovídá, že jedna jednotka je vyprodukována za 27,07 s. Dále je uvažována maximální produkce, tedy 273 ks jednotek za hodinu, což odpovídá, že jedna jednotka je vyprodukována za 13,19 s.

Tmavě červený rámeček vyznačuje předvýrobní a povýrobní oblast. Zde je sledováno, zda vláček stíhá dodávat a odvážet materiál. Fialovým rámečkem je vyznačen zdroj pro první dávku materiálu. Jelikož sklad pro první dávku dodává materiál pro 40 minut výroby, je první dávka pro průměrnou produkci 89 ks a pro maximální 182 ks. Stanice vyznačené tmavě modrým

rámečkem slouží k nakládání a vykládání materiálu z vláčku a do vláčku. Samotné nakládání, či vykládání je řízeno metodami, které jsou naprogramovány v těchto stanicích.

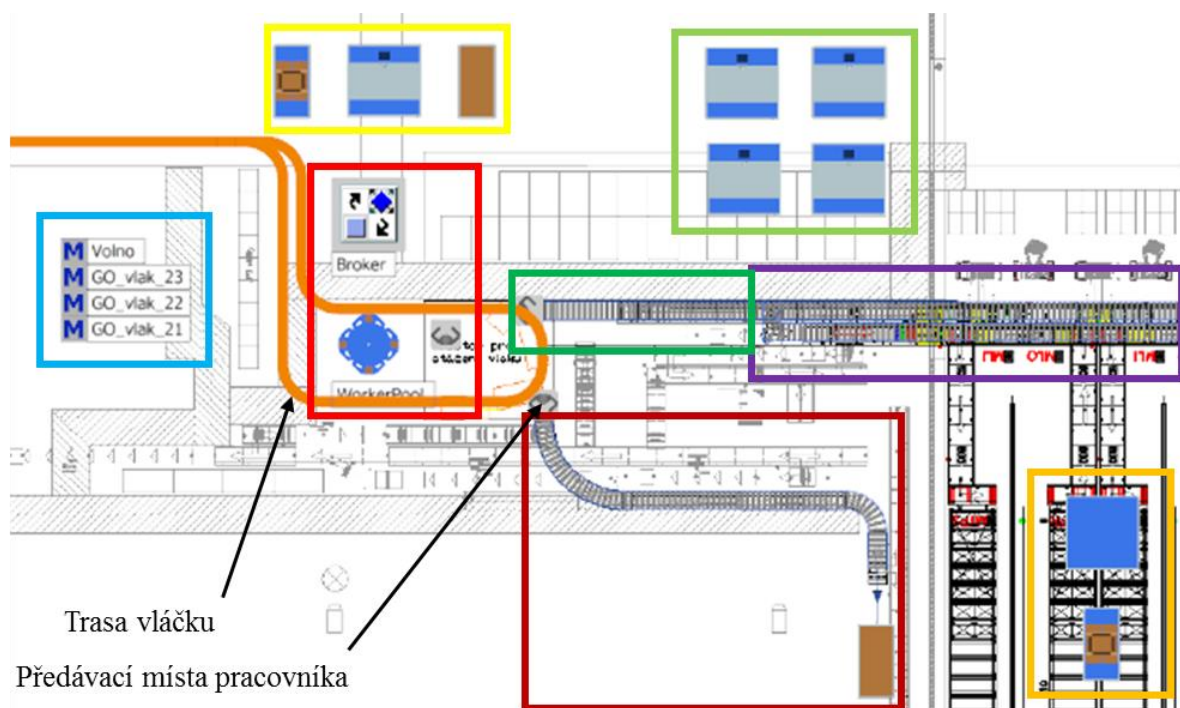
Trasa vláčku je na zmíněném obrázku rovněž zvýrazněna. V rámci modelu je trasa dlouhá 235,85 m. Na trase jsou umístěny senzory, který definují parametry vláčku a určují, kde se má zastavit. Vláček se pohybuje po trase dvěma rychlostmi. První rychlost je maximální (6 km/h), kterou se jezdí vláček pohybuje v normálních úsecích trasy (viz Obr. 31). Druhá rychlost je menší (3 km/h) a jezdí tak, když se vláček nachází v rizikových úsecích. Celková délka rizikových úseků je 109,85 m a délka normálních úseků je 126 m. Pokud je vláček zaplněn, nebo v rámci příslušných strategií dosáhla jeho obsazenost 75 % anebo ve výrobě už nezbyl žádný materiál, tak je rozjezd vláčku řízen metodami zmíněnými ve světle modrém rámečku. V červeném rámečku je zvýrazněn zdroj a řízení vláčku.

Ve světle zeleném rámečku jsou vyobrazeny pomocné stanice, které slouží jako časové spínače při časovém omezení pobytu vláčku u výrobní oblasti, anebo stanice, které definují správné fungování vláčku na koncích směny a před obědovou přestávkou. Zmíněné stanice sloužící jako časové spínače fungují při daném nastavení rozbalovacích seznamů a určují, jak dlouho bude vláček čekat na materiál u výrobní oblasti. Slouží k simulaci nahodilosti rozjezdů vláčku. Ve skutečné výrobě totiž vláček, když už dlouho čeká na zaplnění přívěsů, odjíždí, aniž by byl zaplněn. Poslední žlutý rámeček označuje pracovní kalendáře pro výrobní i pomocné výrobní stanice.

## 8.2.2 POPIS ČÁSTI MODELU U AKL

Na Obr. 34 je znázorněna a popsána druhá část simulačního modelu. Modrý rámeček označuje metody (naprogramovanou logiku) rozjezdů vláčku. Ty určují, že když je vláček plný, nebo když už v dopravníkovém systému není žádný materiál, tak se má rozjet. Ve žlutém rámečku je pomocné pracoviště, kterým lze omezit celkovou dobu cyklu vláčku od 9,5 do 10,5 minuty, jak bylo zmíněno v přecházející kapitole. Jedná se o stejný důvod, jako na druhém konci modelu. Tento princip simuluje nahodilost odjezdů vláčku, jelikož se stává, že vláček odjede dříve, než mu dopravníkový systém dodá všechen materiál, který AKL vyskladnilo. To následně může vést k situaci, že se zaplní výstupní větev z dopravníkového systému (tmavě zelený rámeček) a další materiál je veden do Loopu (smyčky), který je vyznačen fialovým rámečkem. Smyčka slouží k tomu, aby nedošlo k ucpání dopravníkového systému. Výstupní větev má kapacitu 7 manipulačních jednotek.

Přepravu materiálu mezi vláčkem a dopravníkovým systémem zajišťuje pracovník, jehož zdroj a řízení je vyznačeno červeným rámečkem. Tmavě červený rámeček označuje výstupní větev dopravníkového systému a výstup materiálu z modelu. Poté co se materiál ocitne na výstupní větvi dopravníkového systému, dostane AKL pokyn k vyskladnění příslušného materiálu. Tento pokyn zajišťuje metoda, která se spustí po vstupu materiálu do zmíněné výstupní větve dopravníkového systému. AKL je označeno tmavě žlutým rámečkem. V modelu jej nahrazuje zdroj materiálu a prvek Buffer, který simuluje, za jak dlouho má být materiál vyskladněn. Průměrný čas vyskladnění materiálu (od pokynu k vyskladnění, po výstup z dopravníkového systému) trvá 3 minuty. Proto je Buffer nastaven, aby mu předání dopravníkovému systému trvalo 1 minutu a 36,85 sekund. Zbytek času do 3 minut totiž trvá přeprava dopravníkovým systémem. Ve světle zeleném rámečku jsou vyznačeny pomocné stanice, které slouží pro správnou funkci pracovníka.



## LEGENDA:

- |  |   |                                 |
|--|---|---------------------------------|
| Metody rozjezdů vláčku                             | Pomocné stanice pro nakládání a vykládání materiálu | Loop (smyčka)                   |
| Zdroj a řízení pracovníka                          |   | AKL                             |
| Pomocné pracoviště pro časové omezení cyklu vláčku | Výstupní větev dopravníkového systému od AKL        | Výstup z modelu, výstupní větev |

Obr. 34 Část modelu u AKL. [28]

Na zmíněném Obr. 34 jsou označeny i předávací místa pracovníka a trasa vláčku. Na trase vláčku jsou umístěny opět senzory, které slouží k zastavení a změně parametrů vláčku, stejně jako na trase u výrobní oblasti. Předávací místa pracovníka jsou místa, kam má pracovník nosit materiál. V rámci simulačního modelu se předpokládá, že pracovník po poslední operaci zůstane na posledním předávacím místě. Ve skutečné výrobě tento pracovník je zároveň řidič vláčku, což je v simulačním modelu zanedbáno.

### 8.3 VALIDACE A VERIFIKACE PŮVODNÍHO KONCEPTU

Pro kontrolu věrohodnosti je zapotřebí simulační model verifikovat a validovat. Během vytváření modelu byla kontrolována správná funkcionality všech simulačních procesů a chování veškerých částí simulačního modelu, jako např. správné startování vláčků, správná obsazenost vláčků atd.

V rámci validace byly dále porovnány časy během jednoho cyklu vláčku (porovnání vypočtených hodnot a naměřených hodnot ze simulace). Po dobu této kontroly bylo uvažováno, že má vláček 2 přírůsky, celkem tedy kapacitu 30 ks materiálu. Dále byla uvažovaná strategie odjezdů vláčku tak, že vždy odjíždí plný. Produkce výrobní oblasti byla zvolena jako průměrná, tedy 133 ks materiálu za hodinu. Kvůli statickým výpočtům se doba průchodu materiálu přes AKL neuvažuje.

### 8.3.1 STATICKE VÝPOČTY

Vztah pro výpočet doby výroby:

$$t_v = t_{p1} \cdot K, \quad (1)$$

kde:  $t_v$  [s] – doba výroby,  
 $t_{p1}$  [s] – doba produkce jednoho kusu,  
 $K$  [ks] – počet kusů.

Vztah pro výpočet doby jízdy vláčku k dopravníkovému systému, nebo k výrobní oblasti:

$$t_{vlak} = \frac{l_{max}}{v_{max}} + \frac{l_{min}}{v_{min}}, \quad (2)$$

kde:  $t_{vlak}$  [s] – doba jízdy vláčku k dopravníkovému systému,  
 $l_{max}$  [m] – dráha vláčku při maximální rychlosti,  
 $l_{min}$  [m] – dráha vláčku při minimální rychlosti,  
 $v_{max}$  [ms<sup>-1</sup>] – maximální rychlost vláčku,  
 $v_{min}$  [ms<sup>-1</sup>] – minimální rychlost vláčku.

Vztah pro dobu nakládání nebo vykládání vláčku:

$$t_{n/v} = \frac{l_p}{v_c} \cdot C, \quad (3)$$

kde:  $t_{n/v}$  [s] – doba nakládání nebo vykládání vláčku,  
 $l_p$  [m] – přepravovaná vzdálenost materiálu,  
 $v_c$  [ms<sup>-1</sup>] – rychlost pracovníka,  
 $C$  [ks] – počet cyklů od vláčku nebo k vláčku.

Vztah pro dobu přepravy jednou jednotkou materiálu v dopravníkovém systému:

$$t_{ds1} = \frac{l_d}{v_d}, \quad (4)$$

kde:  $t_{ds1}$  [s] – doba přepravy jednotky materiálu v dopravníkovém systému,  
 $l_d$  [m] – délka dopravníku,  
 $v_d$  [ms<sup>-1</sup>] – rychlost dopravníku.

### 8.3.2 TABULKA VALIDACE

V Tab. 6 jsou vypsané všechny zadané, spočítané a získané hodnoty.



Tab. 6 Validace jednotlivých úseků modelu stávajícího konceptu.[28]

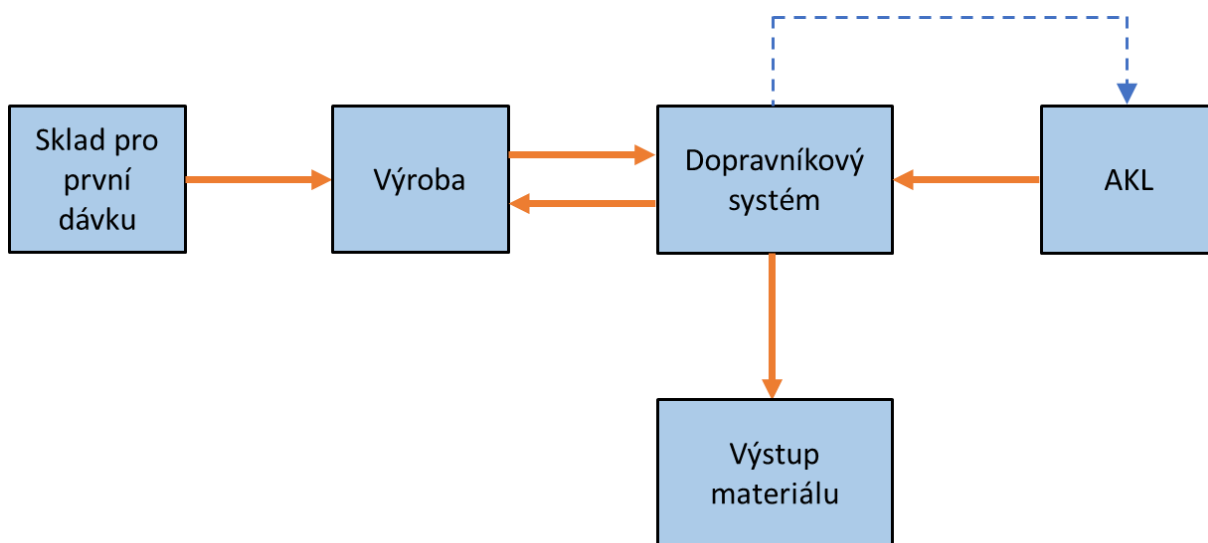
Stav	Přepravovaná vzdálenost nebo délka dopravníku	Dráha vláčku při maximální rychlosti	Dráha vláčku při snížené rychlosti	Maximální rychlost vláčku	Snížená rychlost vláčku	Rychlost	Doba produkce jednoho kusu	Počet cyklů	Počet vyráběných kusů materiálu	Čas z výpočtu	Čas ze simulace
Jednotky	[m]	[m]	[m]	[ms <sup>-1</sup> ]	[ms <sup>-1</sup> ]	[ms <sup>-1</sup> ]	[s]	[ks]	[ks]	[s]	[s]
Doba výroby	-	-	-	-	-	-	27,07	-	30	812,1	812,1
Doba jízdy vláčku k dopravníkovému systému	-	61	57,1	1,667	0,834	-	-	-	-	105,099	105,099
Doba vykládání z vláčku	3,233	-	-	-	-	1,5	-	59	-	127,159	127,159
Doba přepravy jednoho kusu materiálu v dopravníkovém systému	41,5	-	-	-	-	0,5	-	-	-	83	83
Doba nakládání vláčku	2,405	-	-	-	-	1,5	-	59	-	94,578	94,578
Doba jízdy vláčku k výrobní oblasti	-	65	52,75	1,667	0,834	-	-	-	-	102,28	102,28

Z tabulky je patrné, že došlo k úspěšnému ověření simulačního modelu vůči zadaným a vypočítaným hodnotám, lze tedy tuto část modelu považovat za verifikovanou a validovanou.


## 8.4 POJMOVÝ MODEL NOVÉHO KONCEPTU

Na Obr. 35 je vyobrazen pojmový model nového konceptu s vyznačením materiálového a informačního toku. Funkce je podobná původnímu konceptu s tím rozdílem, že je vynechán vláček. Vše opět začíná ve skladu pro první dávku. Tento sklad dodá materiál výrobě. Po výrobních operacích je hotový materiál přemístěn na dopravníkový systém, který jej následně přepraví do výstupního místa. Jakmile je materiál v dopravníkovém systému, AKL dostane pokyn k vyskladnění daného materiálu, který má být zpracován ve výrobě. AKL předá tento materiál dopravníkovému systému, který jej odveze k výrobě, kde je následně zpracován a celý cyklus se opakuje.





Legenda:

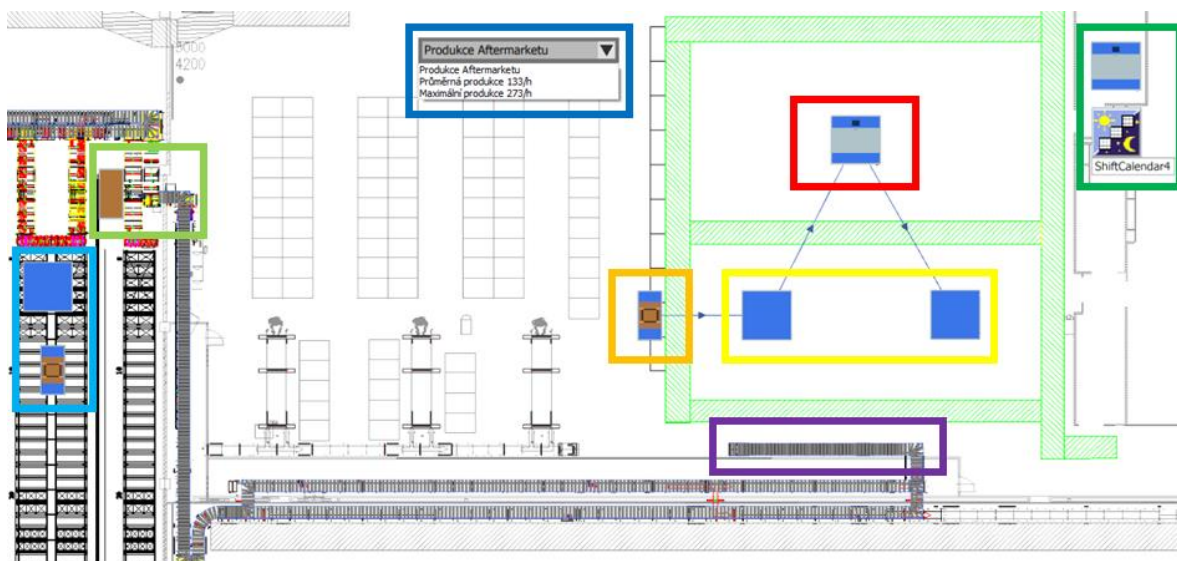
Materiálový tok: 

Informační tok: 

*Obr. 35 Pojmový model nového konceptu. [28]*

## 8.5 POPIS SIMULAČNÍHO MODELU NOVÉHO KONCEPTU

Na Obr. 36 je znázorněn simulační model nového konceptu s vyznačenými částmi. V tmavě modrém rámečku je zobrazen rozbalovací seznam, který slouží k definování produkce aftermarketu. V červeném rámečku je vyobrazena pracovní stanice, která funguje stejně jako v modelu původního stavu a nahrazuje tedy všechny výrobní stanice, včetně navažečů, jelikož jejich sledování není podstatou této práce. Takt stanice je rovněž stejný jako v modelu původního stavu. Předvýrobní a povýrobní oblast je označena žlutým rámečkem. Tato oblast slouží ke sledování kumulace materiálu před výrobou a za výrobou. Tmavě žlutým rámečkem je označen zdroj pro první dávku materiálu. V rámci popisu nového stavu bylo zmíněno, že sklad pro první dávku poskytne materiál výrobní oblasti na 20 minut. Pro průměrnou produkci to tedy činí 44 ks materiálu a pro maximální pak 91 ks materiálu. Fialovým rámečkem je zvýrazněna část dopravníkového systému u výroby. Nachází se zde vstupní i výstupní větev dopravníkového systému. Výstupní větev je ve výšce 1,2 m a odvádí hotový materiál od výroby. Vstupní větev je ve výšce 0,6 a přivádí materiál k výrobě. Zmíněná vstupní větev má kapacitu 12 ks materiálu. Pro případ, že mělo přijít více materiálu, než je povolená kapacita, byla definována podmínka, kterou zajišťuje pomocná stanice v tmavě zeleném rámečku. Jedná se o podmínku, že např. na konci směny není od určitého času předáván materiál z povýrobní oblasti do výstupní větve dopravníkového systému. Tím je zajištěno, že nedojde k ucpání dopravníkového systému. Odvolávka k AKL funguje podobně, jako v modelu původního stavu. Při předání materiálu dopravníkovému systému dostane AKL (světle zelený rámeček) pokyn k vyskladnění daného materiálu.



## LEGENDA

- |   |  |
|---|--|
| ■ Rozbalovací seznam pro určení produkce Aftermarketu | ■ AKL  |
| ■ Výrobní stanice                                     | ■ Výstup materiálu z modelu/ vstup materiálu z AKL |
| ■ Předvýrobní a povýrobní oblast                      | ■ Zdroj materiálu pro první dávku                  |
| ■ Pomocná stanice                                     | ■ Dopravník u výrobní oblasti                      |

Obr. 36 Simulační model nového konceptu. [28]

Zmíněné AKL v modelu funguje stejně jako v modelu původního stavu. Světle zeleným rámečkem je vyobrazen výstup materiálu z modelu a vstup materiálu od AKL. Pro potřeby simulace je čas strávený vykládáním AKL a dopravou k začátku dopravníkového systému simulace přepočítán stejně jako v modelu původního konceptu.

## 8.6 VALIDACE A VERIFIKACE NOVÉHO KONCEPTU

Pro kontrolu věrohodnosti je zapotřebí simulační model verifikovat a validovat. Během vytváření modelu byla kontrolována správná funkcionality všech simulačních procesů a chování veškerých částí simulačního modelu, jako např. správný pokyn k vyskladnění AKL atd.

V rámci validace byla dále porovnávána vypočítaná denní produkce s produkcí ze simulačního modelu vláčku (porovnání vypočtených hodnot a naměřených hodnot ze simulace). Dále byla porovnávána doba průchodu jednoho materiálu dopravníkovým systémem (od výroby k výstupu modelu) a doba průchodu jednoho materiálu přes AKL a dopravníkový systém k výrobě. Pro potřebu validace byla zvolena průměrná produkce výrobní stanice.

### 8.6.1 STATICKÉ VÝPOČTY

Vztah pro výpočet denní produkce výrobní stanice:

$$P_{dp} = \frac{t_p \cdot 3600}{t_d}, \quad (5)$$

kde:  $P_{dp}$  [ks] – denní produkce výrobní stanice,  
 $t_p$  [h] – doba jedné pracovní směny,  
 $t_d$  [s] – doba strávená materiálem ve výrobní stanici.

Vztah pro výpočet doby přepravy jednoho kusu materiálu v dopravníkovém systému je stejný jako rovnice (4).

Vztah pro výpočet doby doprava jednoho kusu materiálu od AKL k výrobní oblasti:

$$t_{pdAKL1} = \frac{l_d}{v_d} + t_{AKL}, \quad (6)$$

kde:  $t_{pdAKL1}$  [s] – doba přepravy jednoho materiálu od AKL k výrobní oblasti,  
 $l_d$  [m] – délka dopravníku,  
 $v_d$  [ms<sup>-1</sup>] – rychlost dopravníku,  
 $t_{AKL}$  [s] – doba vyskladnění jednoho kusu materiálu z AKL.

### 8.6.2 TABULKA VALIDACE

V Tab. 7 jsou vypsané všechny zadané, spočítané a získané hodnoty.

Tab. 7 Validace daných parametrů a časů modelu nového konceptu. [28]

Stav	Doba strávená materiálem ve výrobní stanici	Pracovní doba	Délka dopravníku	Rychlost dopravníku	Doba vyskladnění jednoho kusu materiálu z AKL	Čas z výpočtu	Čas ze simulace	Produkce z výpočtu	Produkce ze simulace
Jednotky	[s]	[h]	[m]	[ms <sup>-1</sup> ]	[s]	[s]	[s]	[ks]	[ks]
Denní produkce výrobní stanice	27,07	7,5	–	–	–	–	–	977	977
Doba přepravy jednoho kusu materiálu v dopravníkovém systému	–	–	56,2445	0,5	–	112,489	112,489	–	–
Doba přepravy jednoho kusu materiálu od AKL k výrobní oblasti	–	–	56,2445	0,5	101,033	213,522	213,522	–	–

Z tabulky je patrné, že došlo k úspěšnému ověření simulačního modelu vůči zadaným a vypočítaným hodnotám, lze tedy model považovat za verifikovaný a validovaný.

## 9 MATICE EXPERIMENTŮ

V rámci matice experimentů jsou porovnány jednotlivé experimenty různých parametrů původního či nového konceptu.

### 9.1 DEFINOVÁNÍ STRATEGIÍ ROZJEZDŮ VLÁČKU

Pro zjednodušení matice experimentů lze stanovit strategie rozjezdů vláčku jako strategii ideální a skutečnou. Ideální strategie popisuje rozjezd vláčku s plnými přívěsy a skutečná popisuje rozjezdy dané časovými intervaly a procentuální obsazeností přívěsů (viz Tab. 8). Ideální strategie simuluje model tak, jak by měl fungovat nejlépe. Skutečný naopak simuluje situace, které reálně nastávají (dřívější odjezd vláčku – nezaplňené přívěsy, kumulace loopu).

Tab. 8 Definování strategií rozjezdů na základě nastavení rozbalovacích seznamů u původního konceptu. [28]

Strategie:	Start výroby:	Logika rozjezdů vláčků:	Omezení čekání u výroby:
Ideální	Plné přívěsy	Plné přívěsy	Původní
Skutečná	75% kapacity	Omezení 75%/ 10 min	75% s omezením

### 9.2 PARAMETRY EXPERIMENTŮ

V tabulce (Tab. 9) jsou psány experimenty a jejich parametry. Sloupec varianta definuje, jestli se jedná o původní nebo nový koncept. Produkce aftermarketu určuje, jestli má výrobní oblast průměrnou nebo maximální produkci. Počet přívěsů definuje, kolik má vláček přívěsů. Strategie určuje, kdy se vláček rozjíždí.

Tab. 9 Experimenty a jejich parametry. [28]

Číslo experimentu	Popis experimentů			
	Varianta	Počet přívěsů	Produkce Aftermarketu	Strategie
1	Původní koncept	1	Průměrná	Ideální – Plné přívěsy
2	Původní koncept	2	Průměrná	Ideální – Plné přívěsy
3	Původní koncept	2	Průměrná	Skutečná – časové om.
4	Původní koncept	2	Maximální	Ideální – Plné přívěsy
5	Původní koncept	2	Maximální	Skutečná – časové om.
6	Původní koncept	3	Průměrná	Ideální – Plné přívěsy
7	Původní koncept	3	Průměrná	Skutečná – časové om.
8	Původní koncept	3	Maximální	Ideální – Plné přívěsy
9	Původní koncept	3	Maximální	Skutečná – časové om.
10	Nový koncept	–	Průměrná	–
11	Nový koncept	–	Maximální	–

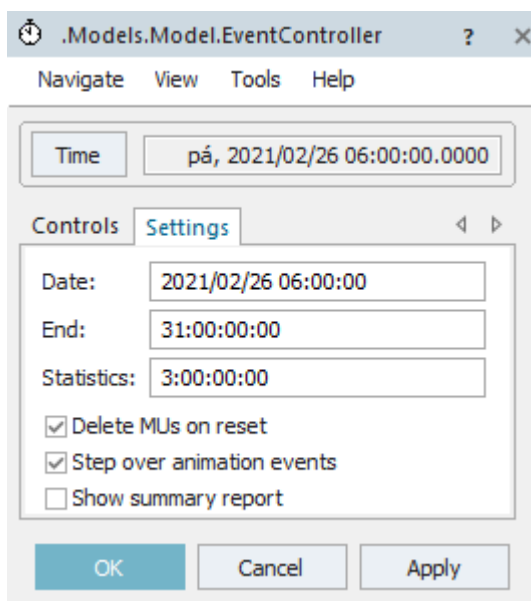
### 9.3 SLEDOVANÉ UKAZATELE EXPERIMENTŮ

Během experimentů jsou sledovány následující ukazatele:

- produkce modelu – počet jednotek materiálu na výstupu modelu,
- prostoje výrobní oblasti – procentuální doba prostojů výrobní oblasti,
- kumulace jednotek před výrobní oblastí – časový průběh obsazenosti v předvýrobní oblasti,
- kumulace jednotek povýrobní oblastí – časový průběh obsazenosti povýrobní oblasti,
- kumulace jednotek v loopu dopravníkového systému – časový průběh obsazenosti loopu (smyčky) dopravníkového systému,
- doba strávená materiálem v systému – průměrná, minimální a maximální časová hodnota pobytu materiálu v modelu,
- vytížení AKL – maximální vytížení AKL ve stejném okamžiku.

### 9.4 DOBA SIMULACE

Po konzultaci s firmou byla zvolena doba simulace na 31 dní. Jedná se o 21 pracovních dní a pět víkendů. Simulace začíná v pátek a je sledována 31 dní – s tím, že se první tři dny ze statistik odečtou, aby výsledná data neovlivňoval náběh systému. Celkem je tedy do statistik zaznamenáváno 20 pracovních dní a 4 víkendy. Vše je vyobrazeno na Obr. 37.



Obr. 37 Nastavení doby simulace v programu Plant Simulation. [28]

## 10 ZHODNOCENÍ SIMULAČNÍCH EXPERIMENTŮ

Tato kapitola hodnotí experimenty, které jsou zapsány v matici experimentů, jež je součástí příloh této práce (viz Příloha 5).

### 10.1 POPIS JEDNOTLIVÝCH EXPERIMENTŮ

**Experiment číslo jedna** popisuje původní koncept, vláček s jedním přívěsem, průměrnou produkci výrobní oblasti a ideální strategii rozjezdů vláčku. Takto nastavený model vykazuje prostoje o velikosti 4,53 %, což odpovídá 30,44 hodinám ze sledovaného období (28 dní). Jádrem problému takto nastaveného modelu je, že vláček nestačí zásobovat výrobní oblast (malá obsazenost v předvýrobní oblasti) a zároveň nestačí odvážet materiál z výrobní oblasti (velká obsazenost v povýrobní oblasti), to je patrné z matice experimentů a v příslušném grafu (viz Příloha 6.) Maximální čas, jenž materiál stráví v modelu, je tak vysoký, protože se zaznamenávají i víkendy.

**Experiment číslo dvě** popisuje původní koncept, vláček se dvěma přívěsy, průměrnou produkci výrobní oblasti a ideální strategii rozjezdů vláčku. Takto nastavený model nevykazuje žádné prostoje. Vláček stíhá zásobovat výrobu a zároveň zvládá odvážet hotový materiál z výrobní oblasti. To lze vyčíst z matice experimentů a z grafu (viz Příloha 7). Minimální, průměrný i maximální čas strávený materiálem v modelu je menší než v předcházejícím systému. Zároveň vzrostl maximální počet odvolávek v AKL. Jedná se o jednorázovou odvolávku, která nastane, když se vláček vyloží.

**Experiment číslo tři** popisuje původní koncept, vláček se dvěma přívěsy, průměrnou produkci výrobní oblasti a skutečnou strategii rozjezdů vláčku. Jedná se o navržený model, který nevykazuje žádné prostoje. Vláček stíhá zásobovat výrobu a stíhá odvážet hotový materiál z výrobní oblasti, což je vidět ve výsledné tabulce a v grafu (viz Příloha 8). V příloze lze také vyčíst časový podíl obsazenosti loopu (smyčky). Maximálně se na něm vyskytuje 23 manipulačních jednotek, ale největší časový podíl má nulová obsazenost (cca 55 %). Maximální počet odvolávek v AKL je 23 (stejně pro všechny následující strategie), stejně jako v předešlém experimentu a průměrný čas strávený materiálem v modelu je vyšší než předchozí strategie.

**Experiment číslo čtyři** popisuje původní koncept, vláček se dvěma přívěsy, maximální produkci aftermarketu a ideální strategii rozjezdů vláčku. Takto navržený model vykazuje prostoje o velikosti 6,95 %, což odpovídá 46,7 hodin ze sledovaného období (28 dní). Jádrem problému tohoto nastavení je, že vláček nestačí zásobovat výrobní oblast a zároveň nestačí odvážet materiál z výrobní oblasti, což je vidět na grafu (viz Příloha 9). Minimální a průměrný čas strávený materiálem v modelu je znatelně vyšší. To je zapříčiněno větší kumulací jednotek v povýrobní oblasti (kvůli většímu počtu materiálu v modelu – maximální produkce výrobní oblasti je v první dávce zásobena větším počtem materiálu).

**Experiment číslo pět** popisuje původní koncept, vláček se dvěma přívěsy, maximální produkci aftermarketu a skutečnou strategii rozjezdů vláčku. Takto nastavený model má stejné výstupní hodnoty jako předcházející, jelikož se vláček nachází kratší dobu u výrobní oblasti i u dopravníkového systému, než je časový interval pro dřívější odjezd z těchto oblastí.

To znamená, že vláček odjíždí vždy plný, a proto tento experiment vychází stejně jako předcházející.

**Experiment číslo šest** popisuje původní koncept, vláček se třemi přívěsy, průměrnou produkci výrobní oblasti a ideální strategii rozjezdů vláčku. Takto navržený model vykazuje prostoje o velikosti 0,17 %, což odpovídá 1,14 hodin ze sledovaného období. Prostoj je způsoben delší dobou vykládání a malým počtem materiálu v modelu. V grafu (viz Příloha 10) je naznačen průběh kumulace jednotek v předvýrobní a povýrobní oblasti. Ze zkoumaných experimentů má právě tento nejmenší minimální čas strávený materiálem v modelu, to je dáno malým počtem materiálu v modelu.

**Experiment číslo sedm** popisuje původní koncept, vláček se třemi přívěsy, průměrnou produkci výrobní oblasti a skutečnou strategii rozjezdu vláčku. Takto nastavený model vykazuje prostoje o velikosti 0,01 %, což odpovídá 0,07 hodinám během sledovaného období. Snížení prostojů oproti předchozímu experimentu způsobilo časové omezení (ideální strategie), jelikož vláček nečekal tak dlouho ani u jedné z oblastí. Vláček nestíhá zásobovat výrobu, ale stíhá odvážet hotový materiál (viz Příloha 11). V příloze je také vidět časový podíl obsazenosti loopu (smyčky). Maximálně se na něm vyskytuje 17 manipulačních jednotek, ale největší časový podíl na loopu má nulová obsazenost (cca 66 %).

**Experiment číslo osm** popisuje původní koncept, vláček se třemi přívěsy, maximální produkci aftermarketu a ideální strategii rozjezdu vláčku. Takto nastavený model vykazuje prostoje výrobní oblasti o velikosti 1,72 %, což odpovídá 11,56 hodin. Problémem tohoto nastavení je, že vláček nestíhá zásobovat výrobní oblast materiálem a zároveň nestíhá materiál odvážet z výrobní oblasti, což je vyobrazeno v grafu (viz Příloha 12).

**Experiment číslo devět** popisuje původní koncept, vláček se třemi přívěsy, maximální produkci výrobní oblasti a skutečnou strategii rozjezdu vláčku. Takto nastavený model vykazuje prostoje o velikosti 1,23 %, což odpovídá 8,27 hodin během sledovaného období. Vláček v tomto případě nestíhá odvážet materiál od výrobní oblasti a zároveň nestíhá dovážet materiál výrobní oblasti (viz Příloha 13). V příloze je také vidět časový podíl obsazenosti loopu. Maximálně se v něm vyskytuje 14 manipulačních jednotek, ale největší podíl na obsazenosti má 8 jednotek (30,87 %).

**Experiment číslo deset** popisuje nový koncept s průměrnou produkcí výrobní oblasti. Takto navržený model nevykazuje žádné prostoje, dochází k plynulému a dostatečnému zásobování výrobní oblasti a nehromadí se materiál v povýrobní oblasti (viz Příloha 14). Zároveň došlo ke snížení časů strávených materiálem v modelu. U tohoto konceptu nedochází k hromadění materiálu v loopu a maximální počet odvolávek v AKL byl 4. Odvolávky chodí k AKL průběžně díky dopravníkovému systému, což je rozdíl oproti původnímu konceptu, kde docházelo k nárazovým odvolávkám (vždy když byl vláček vyložen).

**Experiment číslo jedenáct** popisuje nový koncept s maximální produkcí výrobní oblasti. Takto nastavený model také nevykazuje žádné prostoje, dochází k plynulému a dostatečnému zásobování výrobní oblasti a nehromadí se materiál v povýrobní oblasti (viz Příloha 15). Zároveň došlo ke snížení časů strávených materiálem v modelu. Maximální počet odvolávek v AKL byl 13. Během tohoto experimentu došlo k razantnímu zvýšení produkce modelu.



## 10.2 VYHODNOCENÍ SLEDOVANÝCH PARAMETRŮ

V rámci průměrné produkce výrobní oblasti, tak měly největší produkci modelu experimenty 2 a 10. U maximální produkce suverénně nejlépe vyšel experiment 11, tedy nový koncept.

Nejnižší prostoje výrobní oblasti vyšly u experimentu 2, 3, 10 a 11.

Podle počtu jednotek v předvýrobní oblasti (zásobování výrobní oblasti) nejlépe vyšly experimenty 2, 10 a 11, jelikož mají nenulovou hodnotu minimálního počtu jednotek v předvýrobní oblasti a nedochází k nedostatečnému zásobování.

Dále dle počtu jednotek v povýrobní oblasti (odvoz materiálu od výrobní oblasti) nejlépe vyšly experimenty 10 a 11, jelikož mají nejmenší rozdíl mezi minimální a maximální výslednou hodnotou, přičemž minimální hodnota je 0. Dochází tedy k nejmenší kumulaci jednotek v povýrobní oblasti.

Podle počtu jednotek v loopu dopravníkového systému dochází při experimentech 3, 7 a 9 ke kumulaci jednotek ve zmíněném loopu. Dle grafu procentuálních obsazeností (viz přílohy jednotlivých experimentů) jsou maximální a průměrné hodnoty obsazení uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 Tabulka obsazení loopu pro experimenty 3, 7 a 9. [28]

Číslo experimentu	Maximální počet jednotek	Nenulová obsazenost loopu <sup>1)</sup>	Nulová obsazenost loopu <sup>2)</sup>	Průměrný počet jednotek <sup>3)</sup>	Průměrný počet jednotek nenulové obsazenosti <sup>4)</sup>
	[ks]	[%]	[%]	[ks]	[ks]
3	23	44,39	55,61	2,66	6
7	17	33,792	66,208	2,02	6
9	14	99,994	0,006	6,75	6,75

1) časový interval (přepočtený na procenta), kdy se v loopu nachází alespoň jedna jednotka

2) časový interval (přepočtený na procenta), po kterém je loop prázdný

3) platí po celý časový interval simulace

4) nezohledňuje nulovou obsazenost loopu

Podle času stráveného materiálem (průměrného) v modelu nejlépe vychází experimenty 10 a 11.

Mezi maximálními počty odvolávek AKL původního a nového konceptu je rozdíl. Experimenty nového konceptu vycházejí lépe, avšak během stávajícího konceptu je počet odvolávek nárazový – k situaci dojde vždy, když se vyloží vláček (kdežto v novém jsou odvolávky průběžné).

### 10.3 SHRnutí

S přihlédnutím k vyhodnocení experimentů lze konstatovat, že nové koncepty vycházejí nejlépe. Snižují čas po který se materiál nachází v modelu, zamezují prostojům, nedochází k nedostatečnému zásobování výrobní oblasti, nedochází ke kumulacím v povýrobní oblasti ani v loopu. Při maximální produkci výrobní oblasti vykazuje nový koncept největší produktivitu.

Z původních konceptů nejlépe vyšly experimenty 2 a 3, kde nedocházelo k výrobním prostojům. Produkce byla podobná novému konceptu, avšak u experimentu 3 docházelo ke kumulaci materiálu v loopu dopravníkového systému, což může mít negativní vliv na jiné výroby, které jsou také závislé na dodávce materiálu pomocí dopravníkového systému. U maximální produkce výrobní oblasti se ukázalo, že ani jedno nastavení parametrů není dostačující a dochází tak k prostojům výrobní oblasti a kumulaci materiálu v oblasti povýrobní.

## ZÁVĚR

První část této práce se zabývala rešeršním rozbořem dopravníkové a manipulační techniky. Dále byla popsána problematika počítačové simulace a byla představena firma, se kterou se při vypracování této práce spolupracovalo. V rámci dopravníkové a manipulační techniky se tato práce zabývala Automatizovaným skladem na drobné zboží (AKL), dále dopravníkovými technologiemi a manipulačními průmyslovými vozíky.

Druhá část práce se zabývala řešením zadaných cílů. Nejdříve byl vypracován úvod do praktické části, kde byla vysvětlena problematika daného zadání. Následně byl popsán stávající koncept a navrhnut koncept nový. Dále se práce zabývala počítačovou simulací praktické části. Zde byly vypsány pojmové modely včetně materiálového a informačního toku obou konceptů, poté byly popsány jednotlivé vytvořené simulační modely obou konceptů. Pro kontrolu byla zpracována validace a verifikace modelů. Následně přišlo na řadu vytvoření matice experimentů. V rámci tohoto byly definovány parametry experimentů a sledovaných ukazatelů. Poté byly experimenty vyhodnoceny a výsledky zapsány do matice experimentů. Výstupem experimentů byla i řada grafů, které jsou součástí příloh této práce.

Na základě výše uvedených kroků byly splněny všechny definované cíle dle zadání práce. Layout obsahující polohu automatického skladu a výrobní oblasti s vyznačením nově navržené technologie byl popsán v rámci diplomové práce a náhled na něj byl vyobrazen v Příloha 2. Koncepční návrh materiálového a informačního toku mezi skladem a výrobní oblastí byl vytvořen formou pojmového modelu a vyobrazen v kapitole 8.4. Do příloh byly přidány detailnější pojmové modely původního i navrhovaného konceptu (viz Příloha 16 a Příloha 17). Počítačový simulační model výchozího aktuálního uspořádání automatického skladu a výrobní oblasti byl popsán a spolu s touto prací odevzdán. Matice experimentů byla zhotovena, v rámci práce popsána, viz Příloha 5. Posledním cílem práce bylo zhodnocení experimentů, jenž bylo rovněž v práci uskutečněno.

Simulační experimenty ukázaly, že původní koncept má řadu slabin. Při maximální produkci nestačí zásobovat výrobní oblast a dochází tak k prostojům. Bylo zjištěno, že vlivem odjezdů nezaplňených vláčků, dochází ke kumulaci materiálu v loopu (smyčce) dopravníkového systému. To může mít negativní vliv na jiné výrobní oblasti, které jsou na dodávání materiálu z dopravníkového systému rovněž závislé. Zároveň, jak bylo zmíněno v práci, vláček koná pohyb i přes frekventovaná místa, což je problém z hlediska bezpečnosti.

Simulační experimenty dále ukázaly, že nový koncept dokáže zásobovat výrobní oblast i při maximální produkci. Během simulování nedošlo k žádným prostojům, ani nežádoucí kumulaci materiálu. Doba strávená materiálem v modelu byla podstatně nižší než u původního konceptu.

Závěrem tedy lze konstatovat, že nové navrhované řešení je lepší, bezpečnější a produktivnější.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Logistika výroby: Inovativní řešení pro intralogistiku a výrobní logistiku. *BITO: Skladovací technika* [online]. Praha: BITO Skladovací technika CZ, ©2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.bito.com/cs-cz/systemova-reseni/ekonomicky-sektor/logistika-vyroby/>
- [2] Využití počítačové simulace v oblasti zefektivňování výrobních procesů. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2012, **2012**(8-9), 84. Dostupné také z: [https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/9897.pdf](https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9897.pdf)
- [3] Automatizace, simulace a optimalizace, chytré továrny jako součást konceptu Průmysl 4.0. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* [online]. 2016, **2016**(5), 68 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: [https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/automatizace-simulace-a-optimalizace-chytre-tovarny-jako-soucast-konceptu-prumysl-4-0-2016\\_05\\_54791\\_6876/](https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/automatizace-simulace-a-optimalizace-chytre-tovarny-jako-soucast-konceptu-prumysl-4-0-2016_05_54791_6876/)
- [4] *Nová průmyslová revoluce – Průmysl 4.0* [online]. Olomouc: Datamix, 2017 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/>
- [5] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava, 2002. Dostupné také z: [http://www.342.vsb.cz/pol25/Polak\\_DaMZ\\_1\\_NP.pdf](http://www.342.vsb.cz/pol25/Polak_DaMZ_1_NP.pdf). Skripta. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava.
- [6] GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
- [7] GÜNTHER, W.A. *FORSCHUNGSBERICHT: Integrierte Lagersystemplanung*. München, 2011. Dostupné také z: <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1188332/1188332.pdf>. Skripta. Technische Universität München.
- [8] *AUTOMATICKÝ SKLAD MALÝCH DÍLŮ AKL* [online]. Praha: SSI SCHAEFER [cit. 2021-3-24]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/cs-cz/produkty/skladov%C3%A1n%C3%AD-/p%C5%99pravky-pro-mal%C3%A9-d%C3%ADly-/sklad-mal%C3%BDch-d%C3%ADl%C5%AF/automatick%C3%BD-sklad-mal%C3%BDch-d%C3%ADl%C5%AF-akl-193442>
- [9] STEHLÍK, Jaroslav. *Dopravníky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-708-3888-4.
- [10] *Power Roller Flexible Conveyors: Conveyors bend and expand to suit different spaces and applications* [online]. Cisco-Eagle, © 2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.cisco-eagle.com/category/980/power-roller-flexible-conveyors>
- [11] *BESTFLEX: Powered Roller Conveyor, Light-Duty, Flexible, Drive, 1 1/2 in, Between Frame Width 24 in* [online]. Grainger, © 1994–2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.grainger.com/product/BESTFLEX-Powered-Roller-Conveyor-5YDF6>
- [12] *5 trendů designu dopravníků pro rok 2020* [online]. Stará Paka: JVM metal, 2020 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.jvmmetal.cz/5-trendu-designu-dopravniku-pro-rok-2020/>

- [13] *Modulární pásy* [online]. Trmice: TYMA, © 2004–2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/produkty/ploche-remeny-a-pasy/modularni-pasy/>
- [14] *Dopravník pásový FLEXITRANS* [online]. Holice: FEIFER – kovovýroba, spol. s r.o., © 2021 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.feifer.cz/dopravnik-pasovy-flexitrans>
- [15] *DOPRAVNÍKY ZVYŠUJÍ EFEKTIVITU A PODPORUJÍ AUTOMATIZOVANÁ ŘEŠENÍ* [online]. Šumperk: Smart Connections s.r.o., ©2019 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2020/03/27/dopravniky-zvysuji-efektivitu-a-podporuji-automatizovana-reseni/>
- [16] *Co jsou bubnové motory?* [online]. Praha: HW server, © 1997–2014 [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-jsou-bubnove-motory.html>
- [17] KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. *Manipulácia s materiálom v doprave*. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 80-807-0174-1.
- [18] KOLÁŘ, Vojtěch. Logistické vláčky zefektivňují výrobu. *Hospodářské noviny iHNed.cz* [online]. Economia, 2015 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://logistika.ihted.cz/c1-64881260-logisticke-vlacky-zefektivnuji-vyrobu>
- [19] CEMPÍREK, Václav. *Technologie ložných a skladových operací*. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2007. ISBN 978-80-86530-36-1.
- [20] ULLRICH, Günter. *Fahrerlose Transportsysteme: Eine Fibel – mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung*. 1. vyd. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2011, 195 s. ISBN 978-3-8348-0791-5.
- [21] *Solutions: Proven Variety in Radio and Sensor Technology* [online]. Lehrte: Götting, © 1997–2021 [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.goetting-agv.com/solutions>
- [22] PALKA, Petr. *Analýza podmínek zavedení automaticky vedených vozíků ve skladu*. Pardubice, 2021. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [23] BANGSOW, Steffen. *Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk: Usage and Programming with Examples and Solutions*. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-3-642-05073-2.
- [24] DORDA, Michal. *Úvod do modelování a simulace systémů* [online]. VŠB-TUO Ostrava [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace\\_2.pdf](http://homel.vsb.cz/~dor028/Aplikace_2.pdf)
- [25] *O SPOLEČNOSTI* [online]. Pávov: Marelli Automotive Lighting Jihlava [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.al-lighting.cz/cs#s-3>
- [26] Interní dokumentace firmy Marelli Automotive Lighting.
- [27] *Vývoj LED modulů* [online]. Pávov: Automotive Lighting Jihlava, © 2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.tvorimesvetlo.cz/vyvoj-led-modulu/>
- [28] Vlastní tvorba

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AGV		Automatic Guided Vehicle
AKL		Automatisches Kleinteilelager
FIFO		First In First Out
GPS		Global Positioning System
LAM		Lastaufnahmemittel
LED		Light-Emitting Diode
LPR		Local Positioning Radar
PVC		Polyvinylchlorid
RBG		Regalbediengerät
WiFi		Wireless Fidelity
$C$	[ks]	Počet cyklů od vláčku nebo k vláčku
$K$	[ks]	Počet kusů
$l_{max}$	[m]	Dráha vláčku při maximální rychlosti
$l_{min}$	[m]	Dráha vláčku při minimální rychlosti
$l_d$	[m]	Délka dopravníku
$l_p$	[m]	Přepravovaná vzdálenost materiálu
$t_d$	[s]	Doba strávená materiálem ve výrobní oblasti
$t_{AKL}$	[s]	Doby vyskladnění jednoho kusu materiálu z AKL
$t_{dsI}$	[s]	Doba průchodu jednotky materiálu v dopravníkovém systému
$t_{n/v}$	[s]	Doba nakládání nebo vykládání vláčku
$t_p$	[h]	Doba jedné pracovní směny
$t_{pdAKLI}$	[s]	Doba přepravy jednoho materiálu od AKL k výrobní oblasti
$t_{pl}$	[s]	Doba produkce jednoho kusu
$t_v$	[s]	Doba výroby
$t_{vlak}$	[s]	Doba jízdy vláčku
$v_c$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost pracovníka
$v_d$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost dopravníku
$v_{max}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Maximální rychlost vláčku
$v_{min}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Minimální rychlost vláčku
$P_{dp}$	[ks]	Denní produkce výrobní oblasti

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Postup průmyslových revolucí. [4] .....	11
Obr. 2 Automatizovaný sklad na drobné zboží v ukládacích bednách. [8] .....	13
Obr. 3 Princip zakladače. [7] .....	14
Obr. 4 Schéma velmi často používané konfigurace (pohled shora). [7] .....	15
Obr. 5 Konfigurace úložiště s jedním až třemi zařízeními pro manipulaci s materiálem (pohled shora). [7] .....	16
Obr. 6 Konfigurace s dvouřadou hloubkou skladováním a jedním až třemi LAM (pohled shora). [7] .....	16
Obr. 7 Konfigurace úložiště s jedním nebo dvěma LAM, s dvouřadým úložištěm a s dvojčitou uličkou (pohled shora). [7] .....	16
Obr. 8 Konfigurace úložiště s jedním zakladačem se zakřivenou dráhou (Multi-ulička), s jednořadým nebo dvouřadým úložištěm a s jednoduchou uličkou (pohled shora). [7] .....	17
Obr. 9 Přenos manipulačních jednotek při Volné strategii. [7] .....	18
Obr. 10 Přenos manipulačních jednotek při strategii Sekvenci objednávek. [7] .....	18
Obr. 11 Přenos manipulačních jednotek při strategii Sekvence položek. [7] .....	18
Obr. 12 Příklady strategií pro zakladač s dvěma LAM. [7] .....	20
Obr. 13 Kombinovaná strategie s více LAM. [7] .....	21
Obr. 14 Schéma uspořádání válečkových tratí. [9] .....	22
Obr. 15 Flexibilní poháněný válečkový dopravník. [11] .....	23
Obr. 16 Schéma pásového dopravníku. [9] .....	24
Obr. 17 Dvoububnový pohon. [9] .....	25
Obr. 18 Pásový teleskopický dopravník. [14] .....	25
Obr. 19 Elektrobubnový pohon. [16] .....	26
Obr. 20 Rozdělení vozíků s motorovým pohonem. [6] .....	27
Obr. 21 Tahač Jungheinrich EZS 350. [18] .....	28
Obr. 22 Optická navigace. [21] .....	30
Obr. 23 Aktivní indukční navigace. [21] .....	30
Obr. 24 Magnetická navigace. [21] .....	31
Obr. 25 Laserová navigace. [21] .....	32
Obr. 26 Satelitní navigace GPS. [21] .....	32
Obr. 27 Satelitní navigace LPR. [21] .....	33
Obr. 28 Příklad LED světla. [27] .....	37
Obr. 29 Layout současného stavu s vyznačenými oblastmi. [28] .....	38
Obr. 30 Popis stávajícího konceptu. [28] .....	40
Obr. 31 Rozdělení trasy vláčku na úseky podle rychlosti jízdy. [28] .....	41
Obr. 32 Detail nového konceptu. [28] .....	42
Obr. 33 Pojmový model původního konceptu. [28] .....	43
Obr. 34 Část modelu u AKL. [28] .....	46
Obr. 35 Pojmový model nového konceptu. [28] .....	49
Obr. 36 Simulační model nového konceptu. [28] .....	50
Obr. 37 Nastavení doby simulace v programu Plant Simulation. [28] .....	53



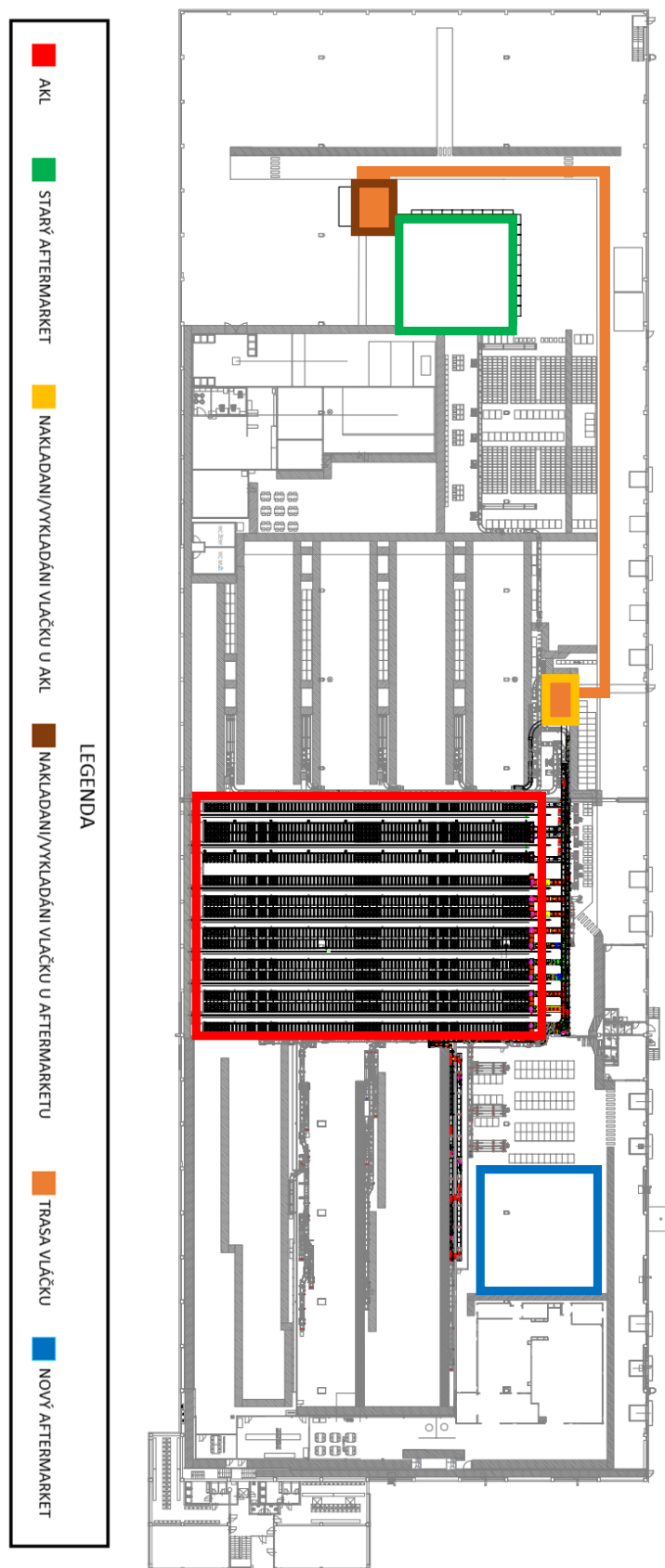
## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled běžných konfiguračních parametrů AKL. [7] .....	15
Tab. 2 Porovnání navigace AGV vozíků. [22] .....	33
Tab. 3 Hlavní zákazníci Automotive Ligting. [25] .....	37
Tab. 4 Rozsah intervalu cyklu vláčku. [28] .....	44
Tab. 5 Možnosti nastavení rozbalovacích seznamů pro určení strategií v rámci stávajícího konceptu. [28] .....	44
Tab. 6 Validace jednotlivých úseků modelu stávajícího konceptu.[28] .....	48
Tab. 7 Validace daných parametrů a časů modelu nového konceptu. [28] .....	51
Tab. 8 Definování strategií rozjezdů na základě nastavení rozbalovacích seznamů u původního konceptu. [28] .....	52
Tab. 9 Experimenty a jejich parametry. [28] .....	52
Tab. 10 Tabulka obsazení loopu pro experimenty 3, 7 a 9. [28] .....	56

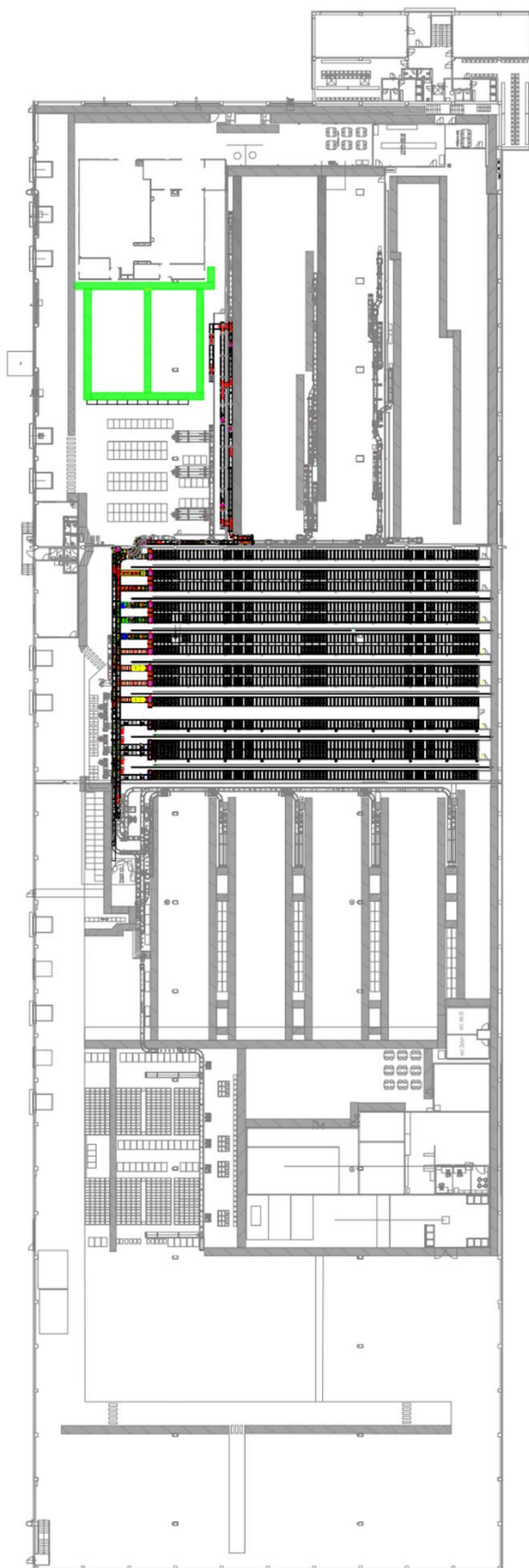
## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b> Layout stávajícího konceptu s vyznačenými oblastmi. [28] .....	I
<b>Příloha 2</b> Layout nového konceptu. [28].....	II
<b>Příloha 3</b> Náhled na simulační model s vyznačenými částmi. [28] .....	III
<b>Příloha 4</b> Náhled na část modelu stávajícího konceptu u výrobní oblasti. [28].....	IV
<b>Příloha 5</b> Matice experimentů. [28] .....	V
<b>Příloha 6</b> Experiment 1: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti v čase. [28].....	VI
<b>Příloha 7</b> Experiment 2: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti v čase. [28].....	VII
<b>Příloha 8</b> Experiment 3: Procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	VIII
<b>Příloha 9</b> Experiment 4: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	IX
<b>Příloha 10</b> Experiment 6: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	X
<b>Příloha 11</b> Experiment 7: procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	XI
<b>Příloha 12</b> Experiment 8: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	XII
<b>Příloha 13</b> Experiment 9: procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	XIII
<b>Příloha 14</b> Experiment 10: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	XIV
<b>Příloha 15</b> Experiment 11: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28].....	XV
<b>Příloha 16</b> Detailní pojmový model současného stavu. [28] .....	XVI
<b>Příloha 17</b> Detailní pojmový model současného stavu. [28] .....	XVII

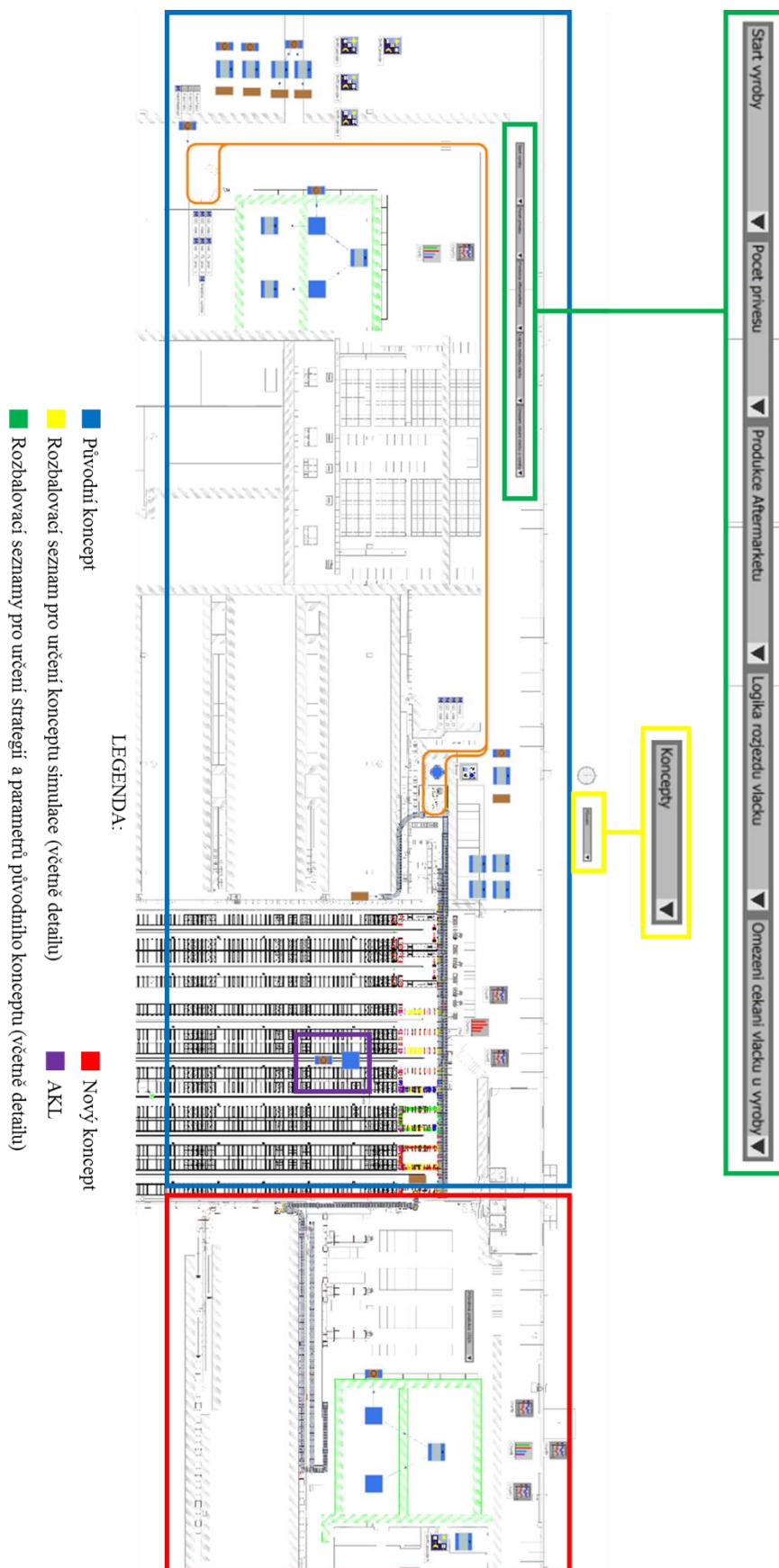
Příloha 1 Layout stávajícího konceptu s vyznačenými oblastmi. [28]



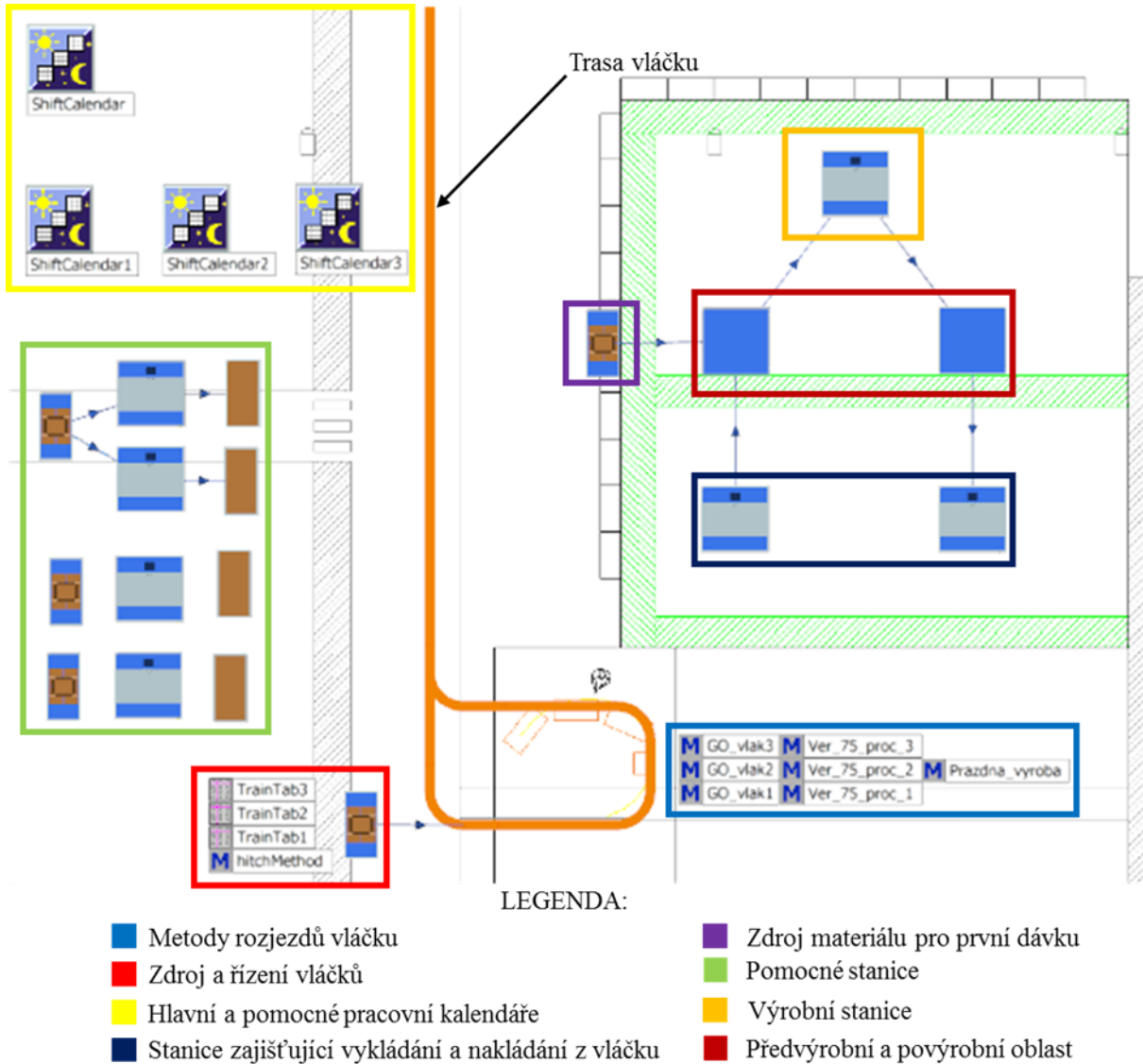
## Příloha 2 Layout nového konceptu. [28]



Příloha 3 Náhled na simulační model s vyznačenými částmi. [28]



**Příloha 4** Náhled na část modelu stávajícího konceptu u výrobní oblasti. [28]

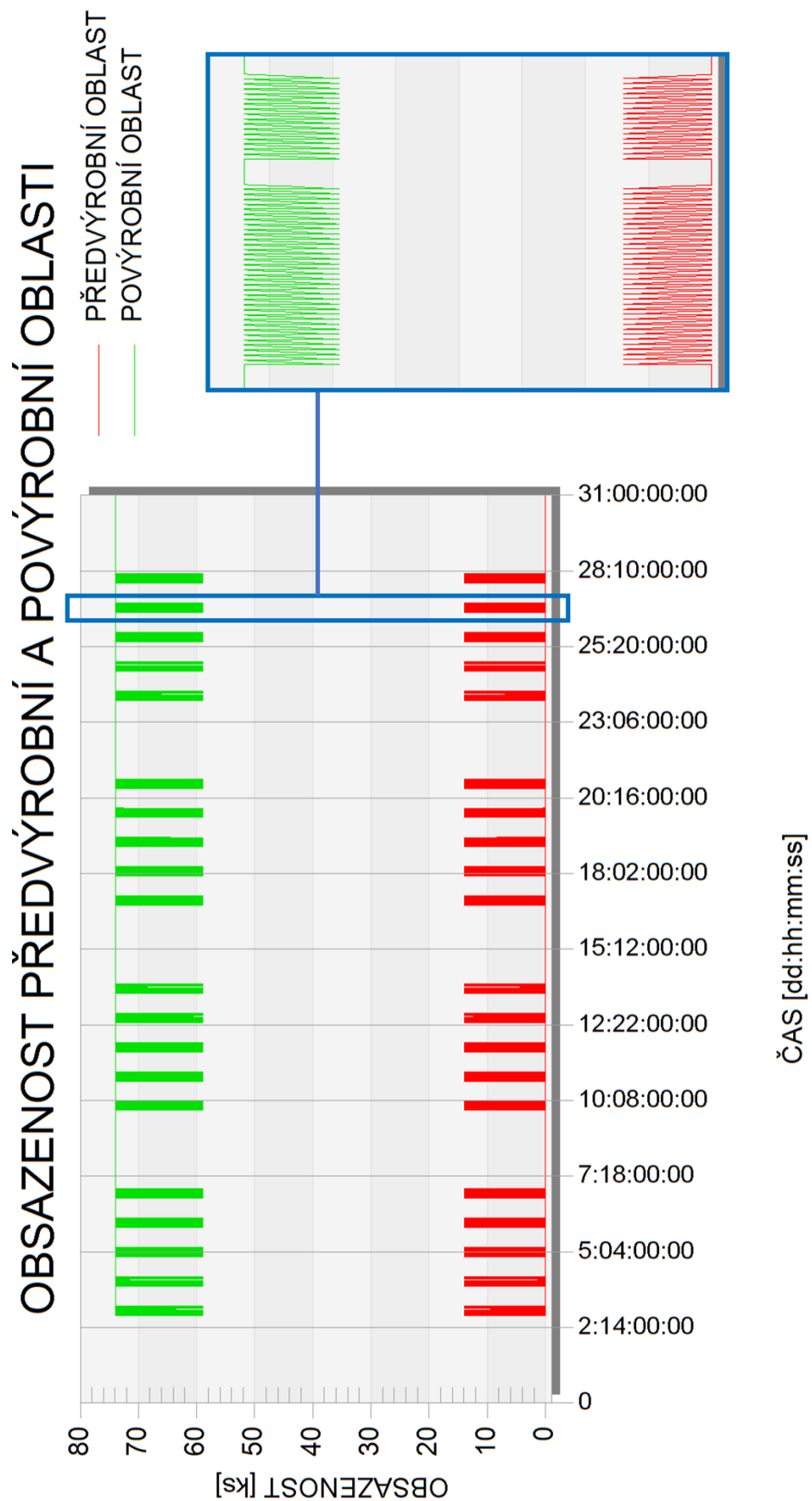


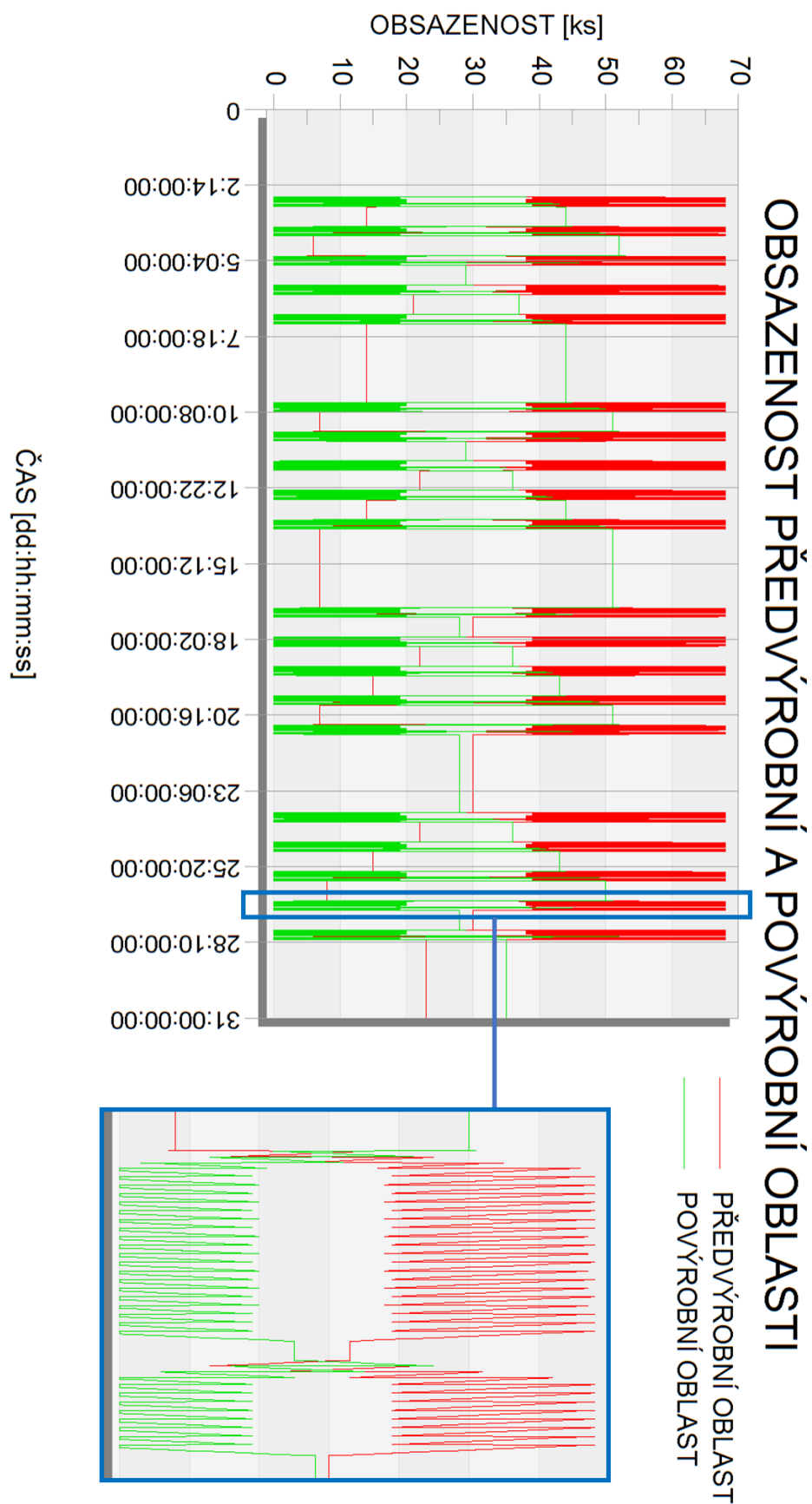
## Příloha 5 Matice experimentů. [28]

Číslo experimentu	Varianta	Počet přívěsů	Produkce Aftermarketu	Strategie	Sledované parametry												
					Celková produkce modelu	Prostoj výrobní oblasti	Počet jednotek v předvýrobní oblasti		Počet jednotek v povyrobní oblasti		Počet jednotek v looppu dopravníkovém systému		Čas strávený materiálem v modelu			Maximální počet odvolávek v AKL	
							Minimální	Maximální	Minimální	Maximální	Minimální	Maximální	Minimální	Průměrný	Maximální		
																	[ks]
1	Původní koncept	1	Průměrná	Ideální – Piné přívěsy	15900	4,53	0	14	59	74	0	0	41:25:60	3:48:37	1:00:08	2:17:08:58.1226	15
2	Původní koncept	2	Průměrná	Ideální – Piné přívěsy	19950	0	5	68	0	53	0	0	18:21:45	3:02:17	4:09:29	2:17:02:36.9448	23
3	Původní koncept	2	Průměrná	Skutečná – časové om.	19797	0	0	70	0	51	0	23	15:48:86	3:03:39	1:25:27	2:17:30:27.0164	23
4	Původní koncept	2	Maximální	Ideální – Piné přívěsy	28200	6,95	0	29	122	152	0	0	53:21:31	04:42:02	5:79:27	2:17:17:44.3268	23
5	Původní koncept	2	Maximální	Skutečná – časové om.	28200	6,95	0	29	122	152	0	0	53:21:31	04:42:02	5:79:27	2:17:17:44.3268	23
6	Původní koncept	3	Průměrná	Ideální – Piné přívěsy	19800	0,17	0	66	0	44	0	0	9:41:17	67:3:03:41	5:51:17	2:17:02:31.9078	23
7	Původní koncept	3	Průměrná	Skutečná – časové om.	19939	0,01	0	70	0	52	0	17	19:24:42	70:3:02:23	0:02:29	2:17:17:48.1423	23
8	Původní koncept	3	Maximální	Ideální – Piné přívěsy	37800	1,72	0	44	92	137	0	0	39:25:71	26:3:15:35	5:15:59	2:16:59:57.3190	23
9	Původní koncept	3	Maximální	Skutečná – časové om.	38700	1,23	0	54	66	127	0	14	27:44:94	39:3:11:02	7:27:10	2:17:22:30.9262	23
10	Nový koncept	–	Průměrná	–	19948	0	35	43	0	1	–	–	22:10:63	96:1:32:49	8:16:22	2:16:22:10.6396	4
11	Nový koncept	–	Maximální	–	40950	0	69	85	0	5	–	–	21:07:20	72:1:32:27	5:66:33	2:16:23:04.1147	13



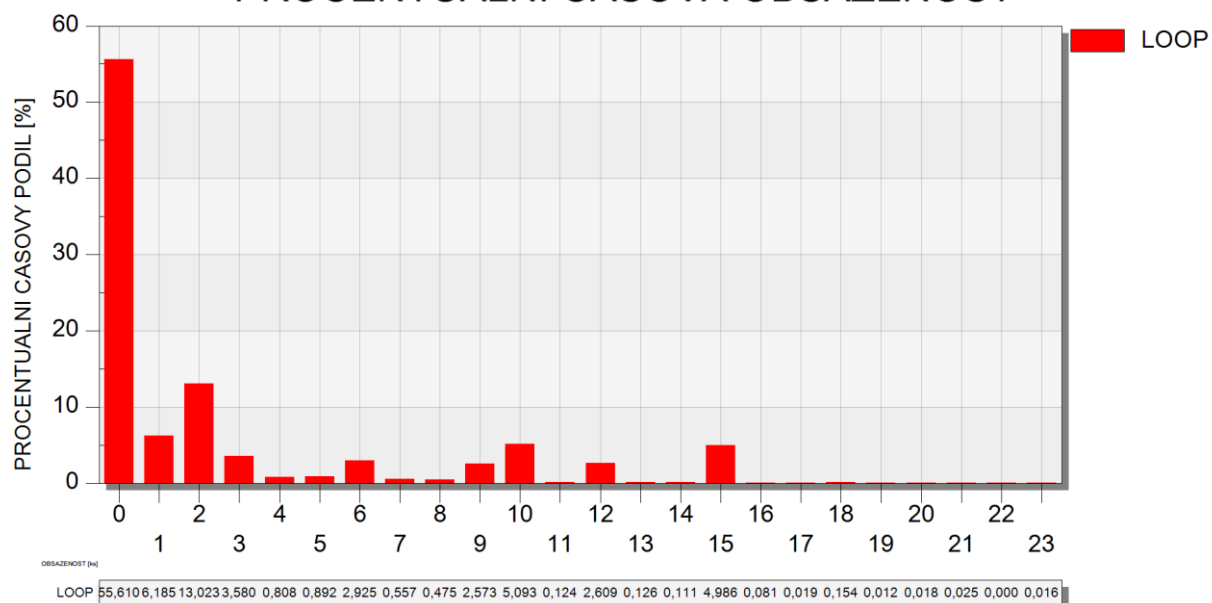
Příloha 6 Experiment 1: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti v čase. [28]



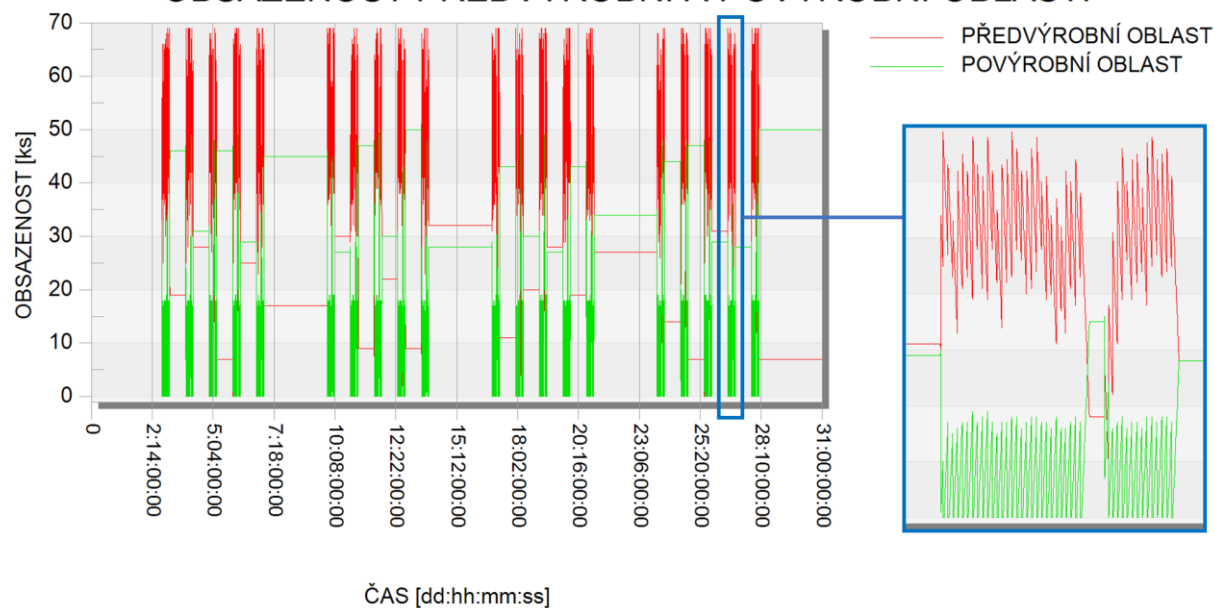
**Příloha 7** Experiment 2: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti v čase. [28]

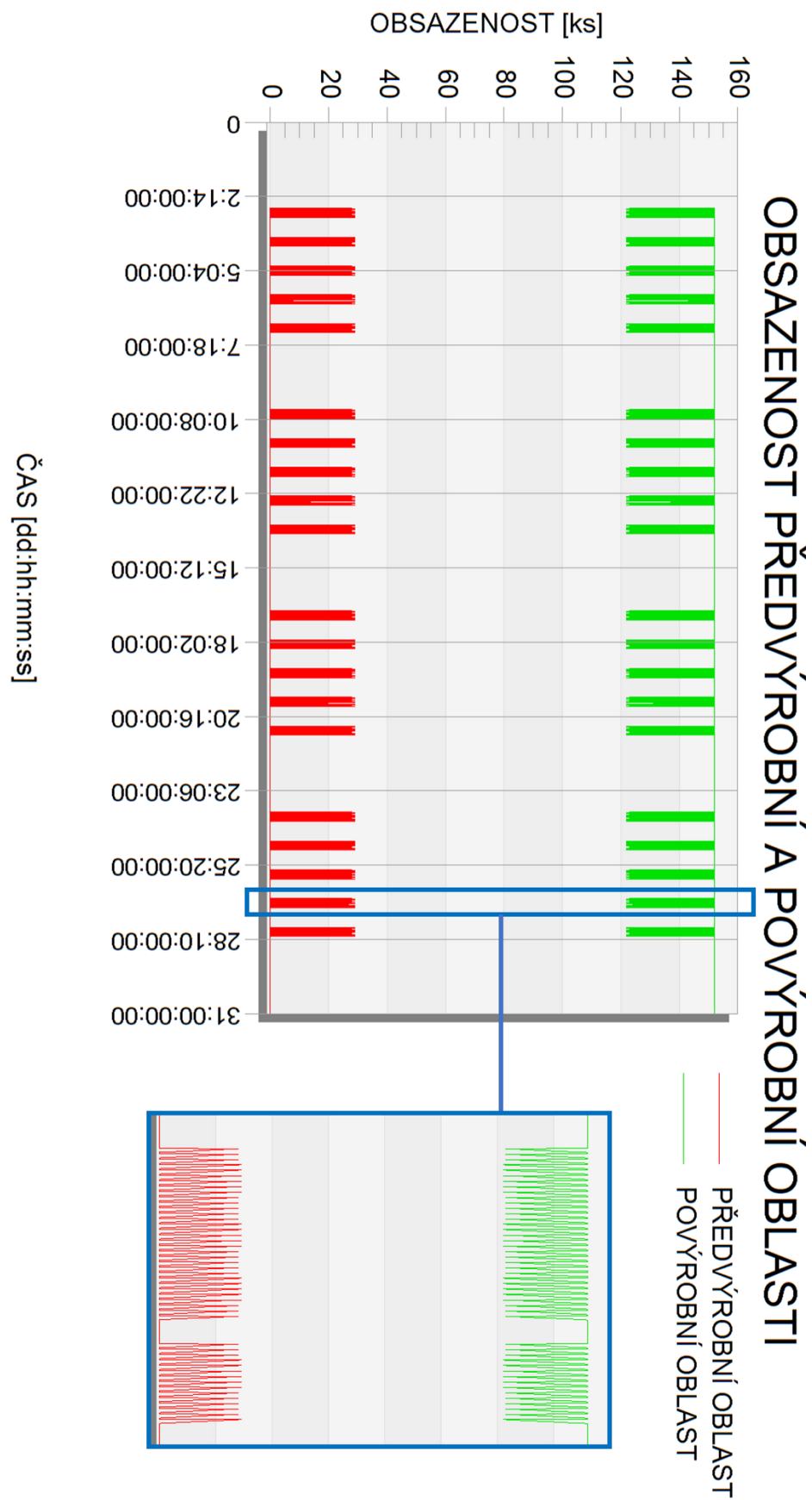
**Příloha 8** Experiment 3: Procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]

## PROCENTUÁLNÍ ČASOVÁ OBSAZENOST

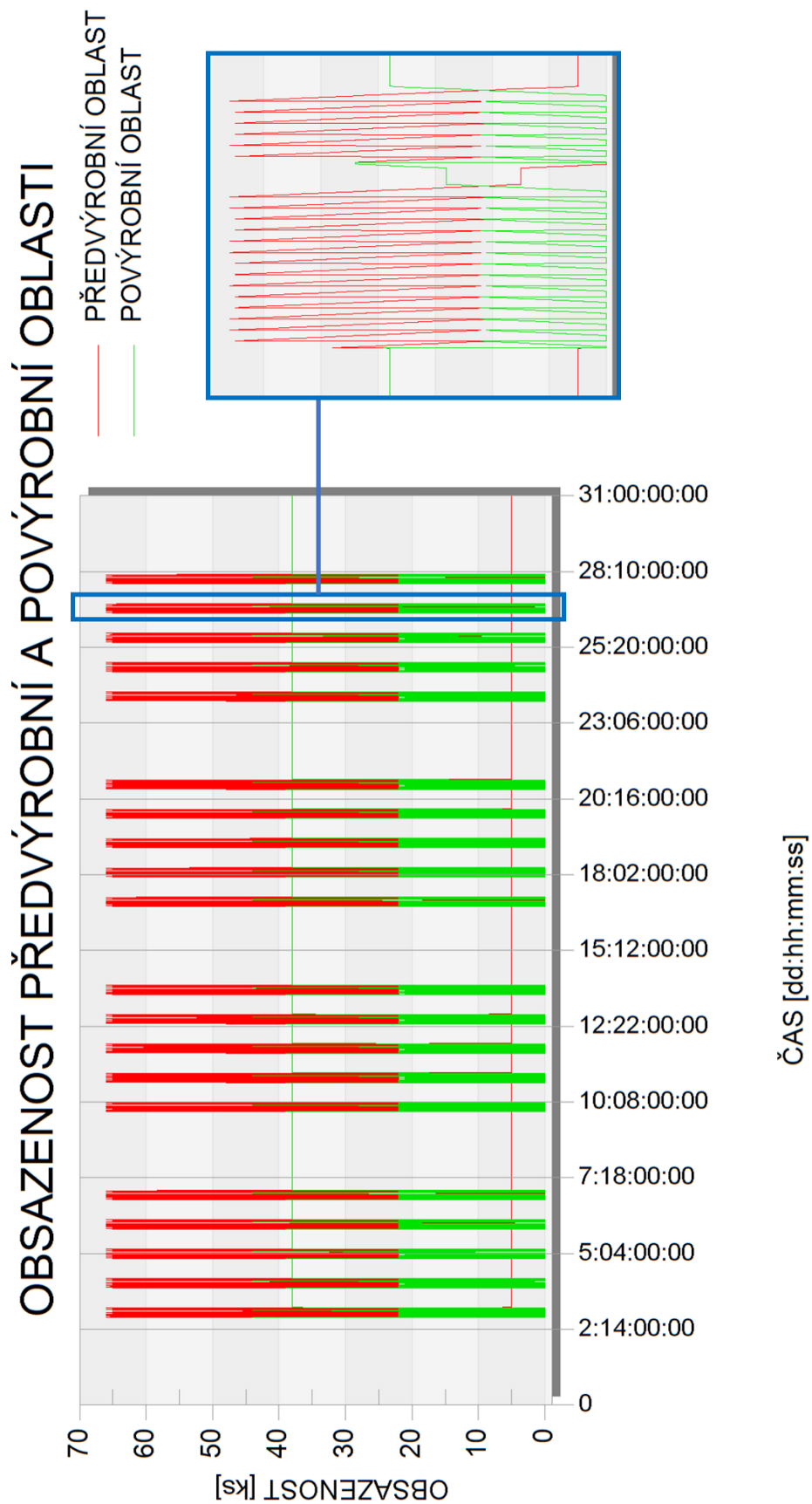


## OBSAZENOST PŘEDVÝROBNÍ A POVÝROBNÍ OBLASTI

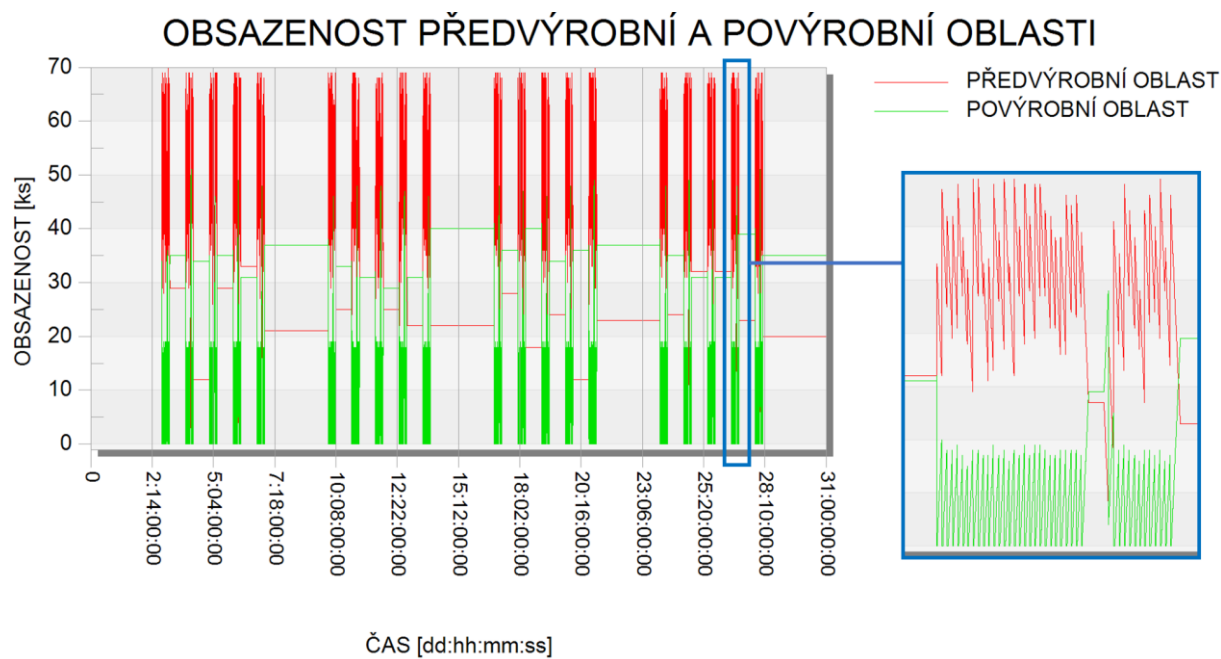
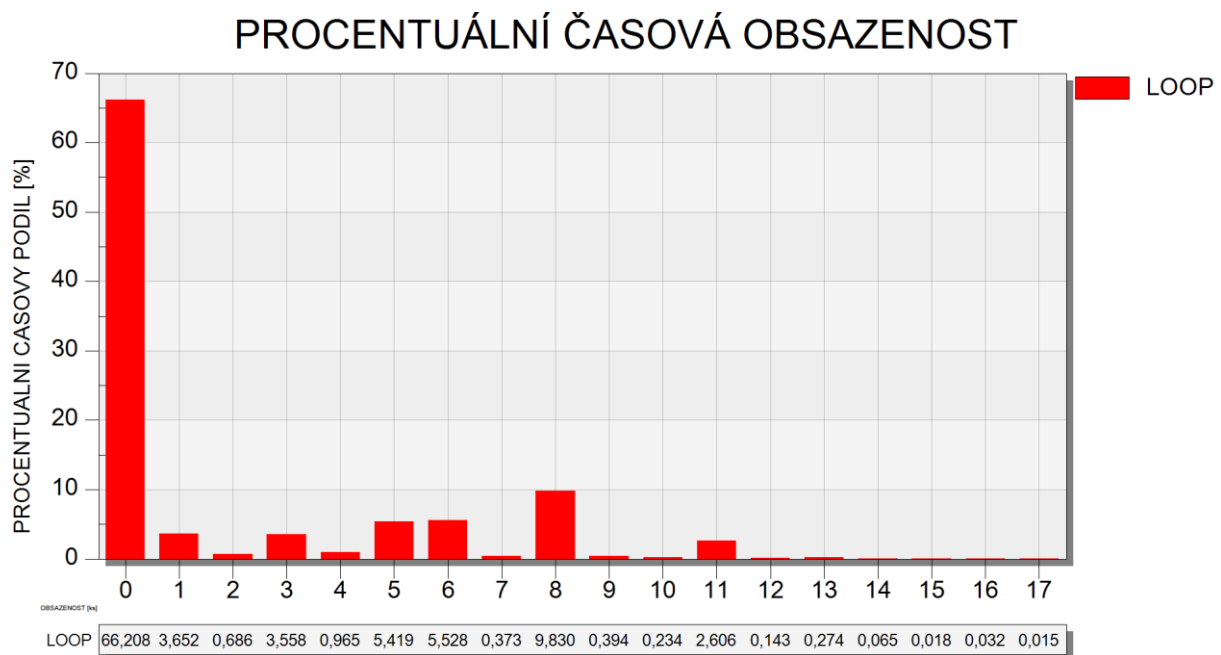


**Příloha 9** Experiment 4: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]

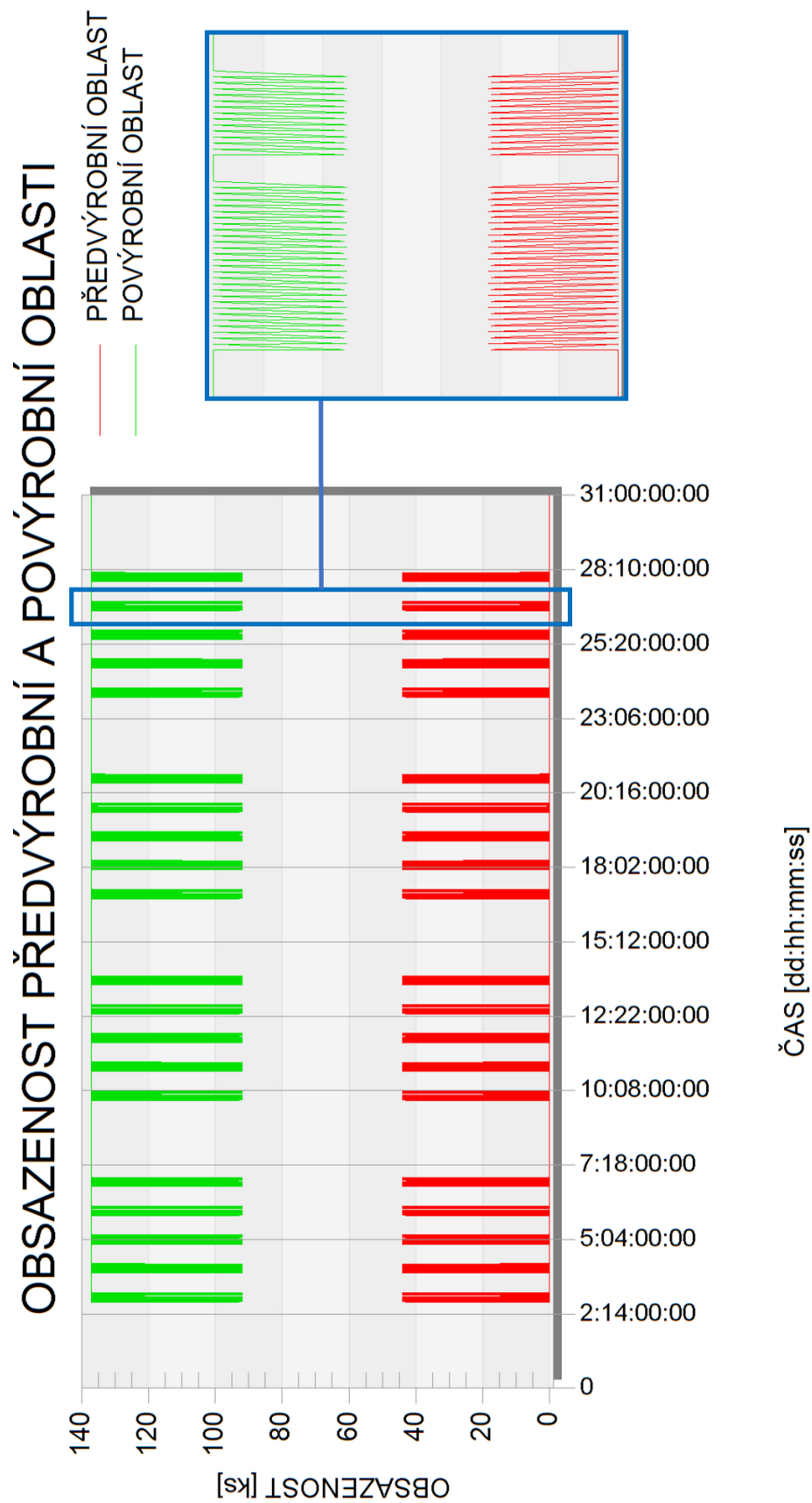
Příloha 10 Experiment 6: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]



**Příloha 11** Experiment 7: procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]



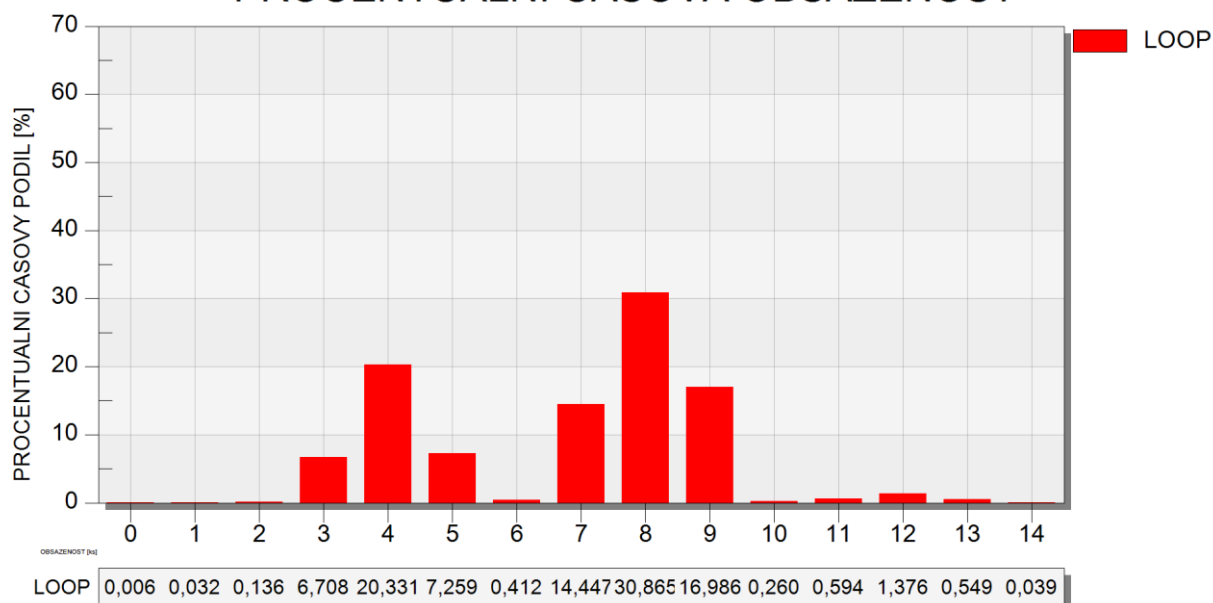
Příloha 12 Experiment 8: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]



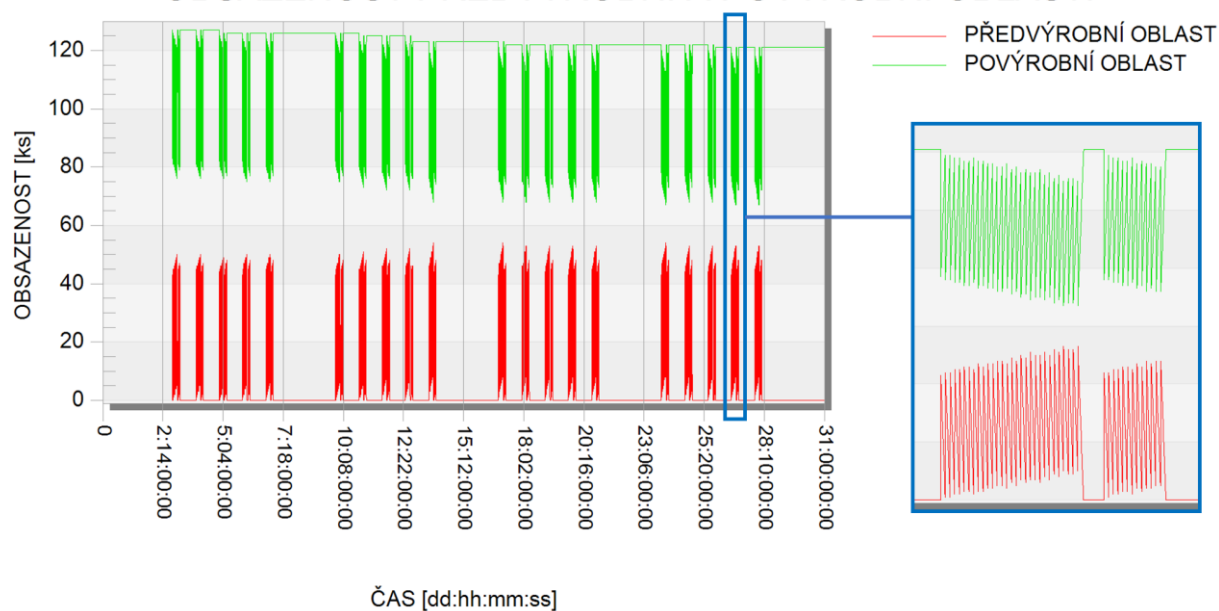


**Příloha 13** Experiment 9: procentuální časová obsazenost loopu, obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]

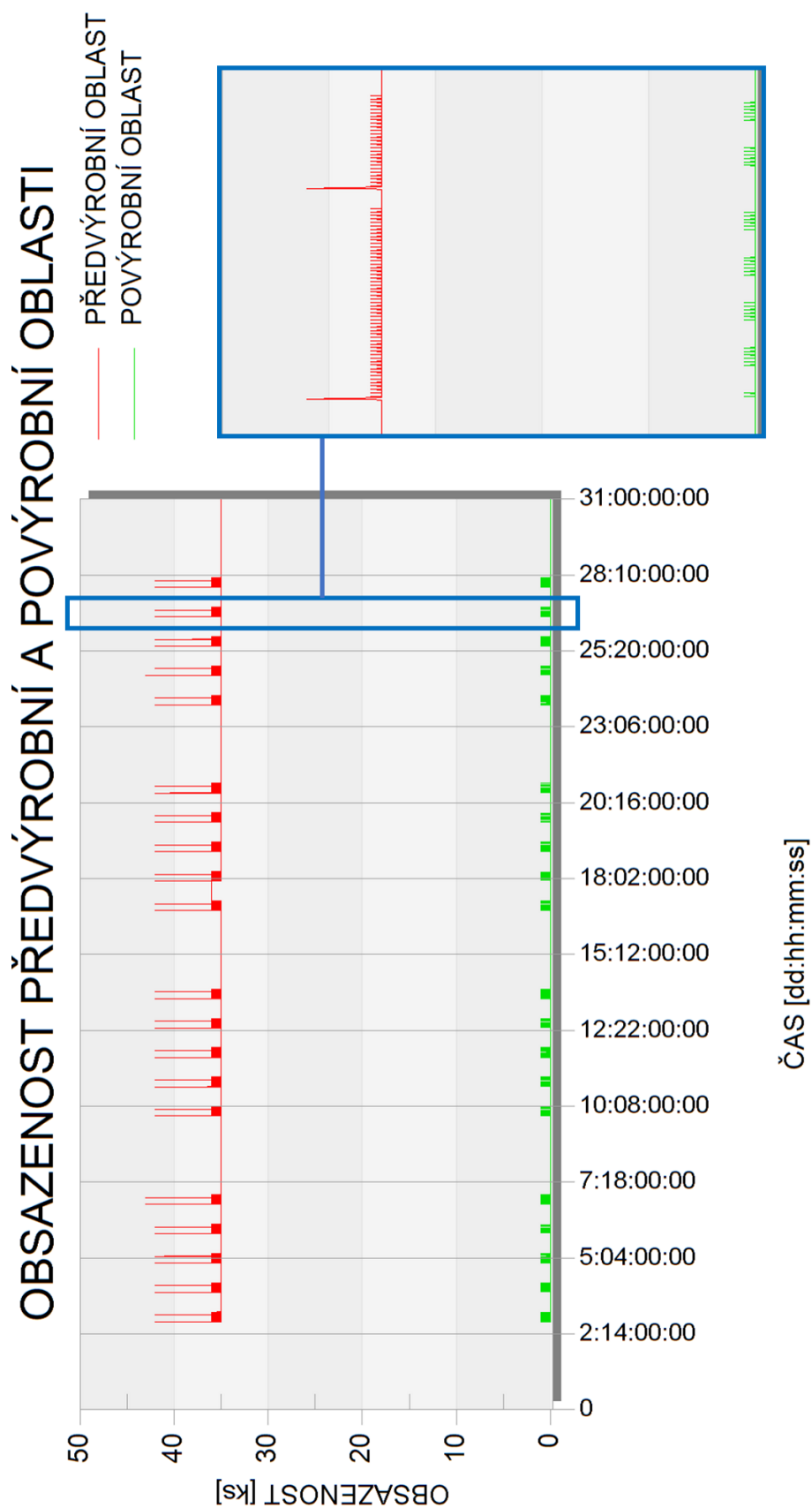
## PROCENTUÁLNÍ ČASOVÁ OBSAZENOST

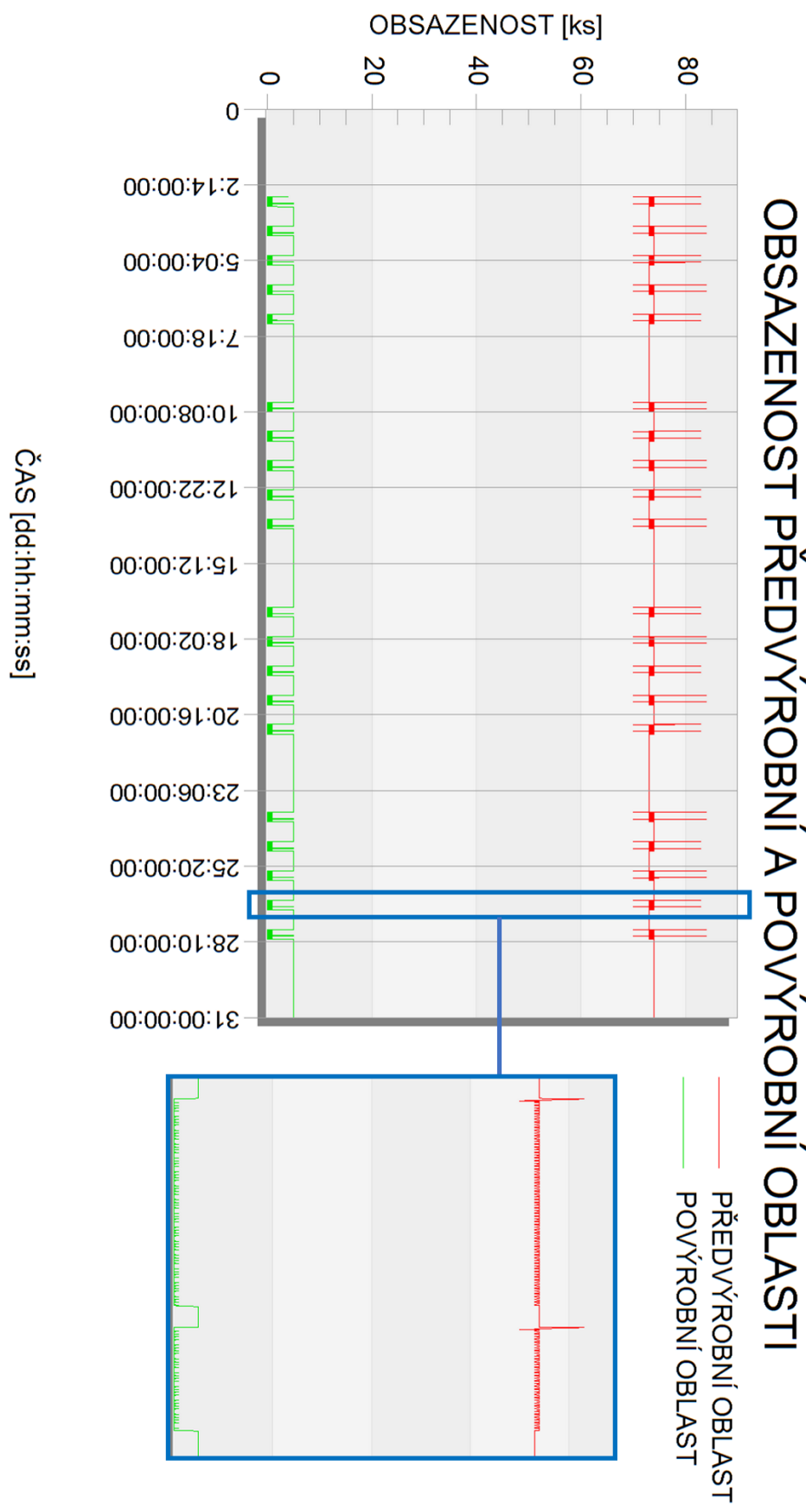


## OBSAZENOST PŘEDVÝROBNÍ A POVÝROBNÍ OBLASTI

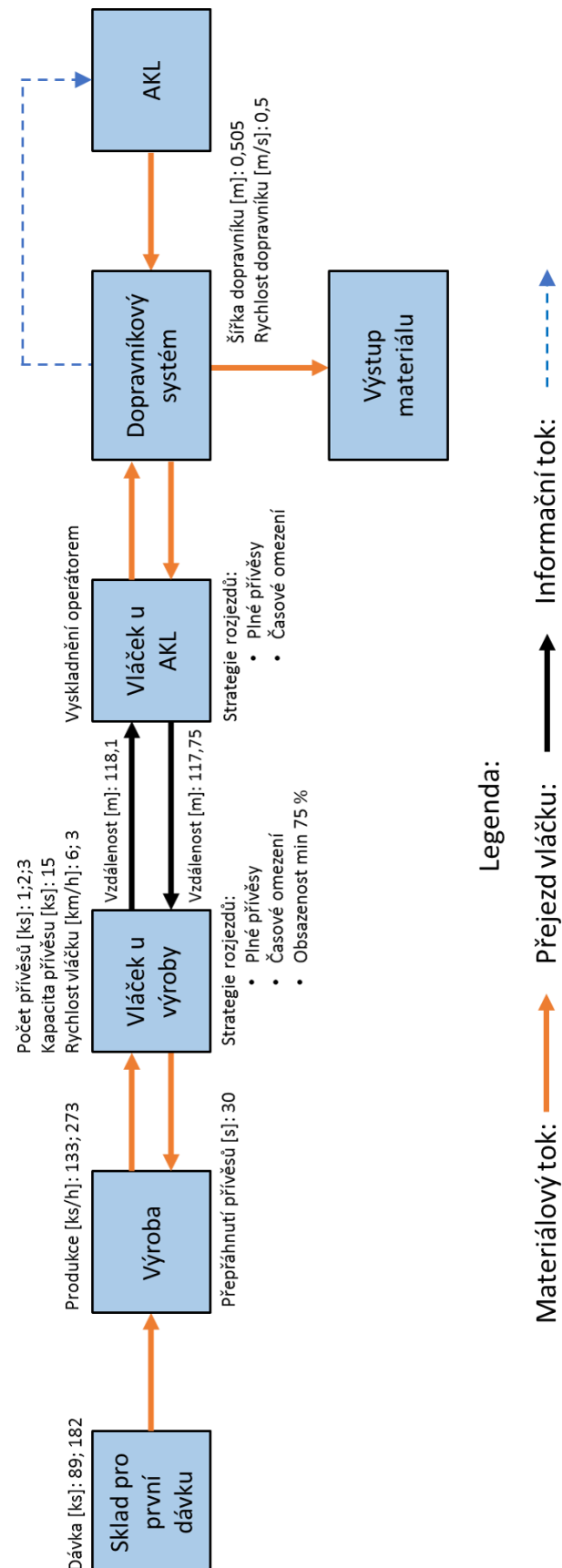


Příloha 14 Experiment 10: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]



**Příloha 15** Experiment 11: obsazenost předvýrobní a povýrobní oblasti. [28]

Příloha 16 Detailní pojmový model současného stavu. [28]



Příloha 17 Detailní pojmový model současného stavu. [28]

